



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA
CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA**

MODALIDAD: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CAMILO GALINDO PULIDO

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA
CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA**


CAMILO GALINDO PULIDO

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

CHRISTIAN GIOVANNY HERRERA NOVOA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018**

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>PROYECTO DE GRADO</p> <p>PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA</p>	<p>FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1</p>
--	---	---



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)
 Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.


NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTÁ D.C.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

AGRADECIMIENTOS

Son muchas personas a las que debo agradecer por ayudarme en el logro de mi carrera, y en verdad es poco decir “gracias” pero en el fondo de mi ser les quedo eternamente agradecido pues sin su apoyo constante no hubiese hecho real este sueño tan anhelado de culminar mis estudios universitarios.

A la Universidad Católica de Colombia por la formación profesional y personal que aportó en gran dimensión para lograr esta meta aspirada después de tantos esfuerzos.

A mis maestros por brindarme su inmenso conocimiento, orientación y experiencia siempre con dedicación y paciencia contribuyendo a mi desarrollo profesional, a ellos gracias por las bases y elementos suministrados que me permitieron culminar con éxito mi proceso de formación en el área.

Con la misma importancia, agradezco a mis familiares, personas que han sido un pilar fundamental en mí vida, colaborando en diferentes aspectos con el objeto de que cumpla mis metas.

A la empresa MyR Ingeniería S.A.S por brindarme la oportunidad de desarrollar mis conocimientos desde una perspectiva más allá del ámbito académico, e incentivar en mí el sentido de la responsabilidad y la calidad, además por suministrar herramientas mediante las cuales pude desarrollar esta tesis de grado.




 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>PROYECTO DE GRADO</p> <p>PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA</p>	<p>FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1</p>
--	---	---

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ANEXOS.....	11
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES	13
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	13
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 DELIMITACIÓN	16
3.1 Espacio.....	16
3.2 Tiempo.....	16
3.3 Contenido.....	16
3.4 Alcance.....	16
4 MARCO REFERENCIAL	17
4.1 MARCO GEOGRÁFICO.....	17
4.1.1 Localización.....	17
4.1.2 Clima y meteorología.....	19
4.1.3 Geología.....	21
4.1.4 Geomorfología.....	23
4.1.5 Usos del Suelo.....	23
4.2 MARCO LEGAL.....	26
4.2.1 Periodo de diseño	26
4.2.2 Áreas de drenaje	26
4.2.3 Caudal de diseño	26
4.2.4 Coeficiente de escorrentía	27
4.2.5 Diámetro mínimo	27
4.2.6 Velocidad mínima.....	27
4.2.7 Velocidad Máxima	27
4.2.8 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería.	28
4.2.9 Profundidad mínima	28
4.2.10 Profundidad Máxima	28

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

4.2.11	Criterios de evaluación estructuras complementarias de las redes de alcantarillado.....	28
4.3	MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	30
4.3.1	Análisis Estadístico	30
4.3.2	Curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF	36
4.3.3	Determinación de Caudales.	41
4.3.4	Herramientas Computacionales.	49
5	METODOLOGÍA	51
6	DISEÑO METODOLÓGICO	56
6.1	Análisis de lluvia.	56
6.2	Curvas IDF.....	62
6.2.1	Método Sintético.....	62
6.2.2	Cálculo de curvas IDF con datos históricos de precipitación	63
6.3	Cuencas de drenaje.....	66
6.4	Coeficientes de escorrentía.	71
6.5	Modelación hidráulica red de alcantarillado existente.....	73
6.5.1	Diámetros en la red.	79
6.5.2	Materiales en la red.....	80
6.5.3	Profundidades mínimas de la red combinada	81
6.5.4	Longitud entre pozos.....	83
6.5.5	Pendiente	83
6.5.6	Fuerza Tractiva	84
6.5.7	Relación de profundidad hidráulica (Q/Q_0)	85
6.5.8	Velocidad máxima.....	87
6.5.9	Numero de Froude	88
6.5.10	Rebosamiento de pozos	89
6.6	Modelación hidráulica red de alcantarillado proyectada.	90
6.6.1	Diámetros en la red proyectada.	96
6.6.2	Relación de profundidad hidráulica (Q/Q_0) proyectada.....	97
6.6.3	Fuerza Tractiva	98
7	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO	100
8	CONCLUSIONES	104
9	RECOMENDACIONES.....	105
10	BIBLIOGRAFÍA.....	106

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fisiografía y Suelos – Municipio de Gama.....	22
Tabla 2. Diámetro interno mínimo de la estructura de conexión	28
Tabla 3. Diámetro de la cámara de caída en función del diámetro de la tubería de entrada.....	29
Tabla 4. Tabla de ajuste Smirnov – Kolmogorov, con un nivel de confianza del 95%.	35
Tabla 5. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia.	38
Tabla 6. Datos estación Gama.....	56
Tabla 7. Datos completos estación Gama.	58
Tabla 8. Valores máximos anuales a nivel multianual.	59
Tabla 9. Parámetros Probabilísticos.	60
Tabla 10. Distribución Gumbel.....	60
Tabla 11. Distribución Normal.....	60
Tabla 12. Distribución Log-Normal.....	60
Tabla 13. Distribución Pearson tipo III.	61
Tabla 14. Parámetros estadísticos método simplificado.	62
Tabla 15. Curva IDF Municipio de Gama – Zona Andina.....	62
Tabla 16 Coeficiente para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.....	63
Tabla 17. Curva IDF Municipio de Gama Valores máximos.	64
Tabla 18. Comparación porcentual valores de precipitación.	65
Tabla 19. Resumen área por sector.....	70
Tabla 20. Resumen de área y coeficiente de escorrentía por sector.	72
Tabla 21. Resumen por diámetros de resultados modelación hidráulica	77
Tabla 22. Distribución de diámetros de la red pluvial.....	79
Tabla 23. Distribución de material de la red pluvial.....	80
Tabla 24. Distribución de recubrimientos iniciales de la red pluvial	81
Tabla 25. Distribución de recubrimientos Finales de la red pluvial	82
Tabla 26. Distribución de longitudes de la red pluvial	83
Tabla 27. Distribución de pendiente de la red pluvial.....	83
Tabla 28. Resumen parámetros físicos incumplidos de la red pluvial.....	84
Tabla 29. Distribución de fuerza tractiva de la red pluvial	85
Tabla 30. Distribución de relación de profundidad hidráulica de la red pluvial.....	86
Tabla 31. Numero de Froude de la red pluvial	87
Tabla 32. Distribución de relación de velocidad de la red pluvial.....	88
Tabla 33. Resumen parámetros hidráulicos incumplidos de la red pluvial.....	89
Tabla 34. Resumen de diseño para cada tramo de alcantarillado.	92
Tabla 35. Distribución de diámetros de la red pluvial proyectada	97


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Tabla 36 Anchos de zanjas tomados para la cimentación de las tuberías.....	100
Tabla 37 Resumen del presupuesto para el alcantarillado pluvial del municipio de Gama	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica del municipio de Gama Cundinamarca a nivel nacional.	18
Figura 2. Ubicación Geográfica del municipio de Gama Cundinamarca.....	19
Figura 3. Valores medios totales mensuales de precipitación (mm) Estación Gama.	20
Figura 4. Comparación valores medios totales mensuales de precipitación (mm).21	
Figura 5. Curvas típicas intensidad – duración – frecuencia, IDF.....	37
Figura 6. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d.	39
Figura 7. Coeficientes de impermeabilidad.....	42
Figura 8. Modelo conceptual del método SWMM.	44
Figura 9. Software ArcGIS.	49
Figura 10. Software Bentley SewerGems.	50
Figura 11. Diagrama de flujo proyecto de grado.	53
Figura 12. Diagrama de flujo actividades a desarrollar. Parte 1.....	54
Figura 13. Diagrama de flujo actividades a desarrollar. Parte 2.....	55
Figura 14. Diagrama de flujo actividades a desarrollar. Parte 2.....	57
Figura 15. Valores máximos para diferentes distribuciones probabilísticas.	61
Figura 16. Curvas IDF diferentes periodos de retorno.	63
Figura 17. Curvas IDF diferentes periodos de retorno.	65
Figura 18. Imagen Ráster de la NASA.....	67
Figura 19. Imagen Ráster Plancha IGAC.....	67
Figura 20. Cuenca aferente municipio de Gama.....	68
Figura 21. Subcuencas Alcantarillado Pluvial Gama.	69
Figura 22. Áreas aferentes alcantarillado pluvial.	70
Figura 23. Coeficientes de escorrentía de las áreas aferentes al alcantarillado pluvial.....	71
Figura 24. Curva IDF ingresada al modelo.	73
Figura 25. Periodo de retorno definido para el análisis.....	74
Figura 26. Vista general de las cuencas modeladas.....	74
Figura 27. Información base áreas de drenaje método racional.	75
Figura 28. Hidrograma áreas sector el colegio.	76
Figura 29. Caudal acumulado tuberías sector el colegio.	76
Figura 30. Distribución de longitud de redes vs. Diámetro.....	77



 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Figura 31. Distribución de Tiempo de concentración vs. Diámetro	78
Figura 32. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial	79
Figura 33. Material del Sistema de Alcantarillado pluvial	80
Figura 34. Profundidad Inicial del Sistema de Alcantarillado pluvial	81
Figura 35. Profundidad Final del Sistema de Alcantarillado pluvial.....	82
Figura 36. Longitudes de colectores del Sistema de Alcantarillado pluvial	83
Figura 37. Fuerza tractiva del Sistema de Alcantarillado pluvial	84
Figura 38. Relación de profundidad hidráulica del Sistema de Alcantarillado pluvial	85
Figura 39. Perfil tramo CLL3 a CLL8	86
Figura 40. Velocidad máxima del Sistema de Alcantarillado pluvial	87
Figura 41. Numero de Froude del Sistema de Alcantarillado pluvial.....	88
Figura 42. Rebosamiento Pozos del Sistema de Alcantarillado pluvial.....	89
Figura 43. Tramos a renovar para optimizar red de alcantarillado pluvial municipio de Gama.	91
Figura 44. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial proyectado.....	96
Figura 44. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial proyectado.....	97
Figura 38. Relación de profundidad hidráulica del Sistema de Alcantarillado pluvial diseñado.	98
Figura 37. Fuerza tractiva del Sistema de Alcantarillado pluvial diseñado	99
Figura 44. Detalle de Cimentación para Tuberías de Alcantarillado - Pavimento Flexible	101
Figura 44. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial proyectado.....	102

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>PROYECTO DE GRADO</p> <p>PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA</p>	<p>FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1</p>
--	---	---

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A SIG

ANEXO B ANÁLISIS DE LLUVIA

ANEXO C FORMATOS DE CATASTRO


ANEXO D MODELO HIDRÁULICO DIAGNOSTICO

ANEXO E MODELO HIDRÁULICO ALTERNATIVAS

ANEXO F PLANOS

ANEXO G CANTIDADES Y PRESUPUESTO


ANEXO H MANUALES

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está enfocado en realizar un diagnóstico técnico del alcantarillado pluvial del municipio de Gama Cundinamarca, con el fin de generar una propuesta de manejo de escorrentía de precipitación, con las condiciones hidráulicas necesarias para su buen funcionamiento. Actualmente el sistema de alcantarillado pluvial no tiene una cobertura total del municipio, encontrando que existen conexiones erradas al sistema de alcantarillado sanitario, teniendo como posible consecuencia en un evento de precipitación alta que se supere la capacidad actual del alcantarillado sanitario y se generen problemas sanitarios no deseados.

El trabajo se enmarcará en el desarrollo de 8 fases que inician con una visita técnica de reconocimiento de la zona la recolección de información sobre el comportamiento físico del sistema, una segunda y tercera fase encaminadas al trabajo en campo sobre verificación de información y toma de datos faltantes, posteriormente una fase de procesamiento de la información con el fin de organizarla y poder desarrollar la siguiente fase denominada caracterización del sistema existente de una manera clara y precisa, una sexta fase denominada evaluación de alternativas, luego el desarrollo de la cartografía y por último el desarrollo del documento final.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El municipio de Gama sólo posee una estación pluviométrica, cuyas mediciones indican que la distribución de la precipitación es de tipo monomodal, presentándose la época más lluviosa desde el mes de abril hasta noviembre, donde el aporte total de lluvia es de más o menos del 90% del total del año, siendo los meses más lluviosos junio y julio los cuales representan entre un 25 y un 30% del total anual y con un periodo seco en los meses de diciembre a marzo, que contribuyen con solo un 7 a 10% del total anual, este último evidenciándose sobre todo en la parte norte donde el clima se clasifica como frío seco.

Debido a esta condición de precipitación elevada en esta zona de Cundinamarca la cual ha sido objeto de diferentes noticias como la siguiente “Diez municipios de Cundinamarca afectados por las fuertes lluvias de los últimos días” publicada por radio Santa fe el 21 de agosto de 2016, realizando un análisis de esto y con base a la información inicial recolectada del sistema se pudo determinar que en el municipio no cuenta con una infraestructura adecuada para poder evacuar la escorrentía superficial provocada por este fenómeno natural, esta condición genera que se presenten problemas de erosión y fenómenos de remoción en masa debido a la gran dimensión de la cuenca que conduce hacia el centro poblado del Municipio de Gama, así como inundación del sistema vial en épocas de gran lluvia, esta falta de capacidad se debe a que más del 50% del alcantarillado es de tipo combinado y maneja diámetros inferiores a los exigidos por la normatividad para alcantarillados pluviales, provocando condiciones inadecuadas en el transporte de agua, esto se puede ver reflejado en el plan de desarrollo municipal 2016-2019, en el cual se expresa lo siguiente “por otra parte, el municipio cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), pero la remoción efectiva de esta depende la reducción de los caudales de entrada, que están relacionados con la construcción

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---


de la segunda etapa de plan maestro de acueducto y alcantarillado del casco urbano”(PDM, Gama cuenta contigo, 2016), esto haciendo referencia a la necesidad de un diseño optimo del sistema de alcantarillado del municipio. Es por esta razón principalmente que se ve la necesidad de realizar el diagnóstico y posterior planteamiento de propuestas para que se pueda generar un adecuado manejo de las aguas que produce la precipitación en este lugar.

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Gama se localiza en la región nororiental del Departamento de Cundinamarca, en la provincia del Guavio, a una distancia de 118 Kms de Bogotá. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 4° 46’ 0” latitud norte y 73° 36’ 0” longitud oeste.

Los sistemas de alcantarillado a lo largo de su funcionamiento y puesta en marcha presentan problemas de funcionamiento debido a la falta de operación técnica y mantenimiento que se deben realizar constantemente en periodos cortos además de falta de planificación a la hora de su diseño y construcción, un ejemplo de esto es el municipio de Gama Cundinamarca el cual no cuenta actualmente con un sistema de alcantarillado pluvial eficiente que pueda transportar la escorrentía superficial provocada por la alta precipitación que se presenta en la zona y por la cuenca que drena directamente en el sistema actual, con la capacidad y parámetros hidráulicos requeridos por la normativa actual de diseño Colombia, la RAS 2000 con su última resolución modificatoria la 0330 de 2017.

Adicionalmente a esto el municipio de Gama Cundinamarca posee un alcantarillado sanitario con conexiones erradas por medio de sumideros instalados directamente, lo que puede generar que en una precipitación alta se sobrepase la capacidad del sistema sanitario produciendo crisis sanitaria, así como una saturación de la planta de tratamiento de agua residual construida en el municipio.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---


2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Proponer mediante modelación hidráulica una alternativa de solución a los problemas de manejo de la escorrentía en el municipio de Gama.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Recopilar la información pertinente y necesaria para la modelación del sistema de drenaje actual.
- ✓ Modelar hidráulicamente el alcantarillado pluvial existente mediante el uso del programa SEWER GEMS V8i.
- ✓ Presentar una solución a los problemas encontrados al sistema de drenaje, manteniendo el mayor número de elementos existentes.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

3 DELIMITACIÓN

3.1 Espacio.

Para el desarrollo del proyecto se realiza una visita de reconocimiento y recolección de información como catastro de las redes de alcantarillado pluvial, estudios anteriores realizados al sistema y al municipio. Así mismo se realizará la solicitud en el IDEAM de los datos de precipitación de las estaciones cercanas al municipio de Gama para la obtención de las curvas IDF a utilizar en el desarrollo del proyecto, con el objetivo de simular el comportamiento de las redes ante in evento de lluvia seleccionado. De igual manera en las salas de computo de la universidad Católica de Colombia se desarrollará todo el análisis geográfico de la zona por medio del Programa ArcGis, del cual la universidad tiene una licencia adquirida.

3.2 Tiempo.

Se desarrollará según los plazos establecidos por la universidad el cual corresponde a 4 meses.


3.3 Contenido.

El documento final a presentar es la recopilación de los resultados obtenidos en el estudio de las condiciones actuales del sistema de alcantarillado pluvial para el municipio de Gama Cundinamarca, teniendo en cuenta todas las características hidrológicas de esta zona del país, así como los lineamientos principales para el análisis de este tipo de sistemas, de igual manera comprende el estudio de una alternativa de mejora a los problemas presentes en la red incluyendo un presupuesto estimado de las obras a realizar.

3.4 Alcance.

Estudio y aplicación del software SewerGEMS v8i para un caso práctico basado en el modelamiento y evaluación del alcantarillado pluvial existente en el municipio de Gama Cundinamarca, con el fin de estimar las características hidráulicas para:

- Área de drenaje de aproximadamente 80 hectáreas.
- Periodo de retorno de 3 a 5 años según la RAS 2000 y la resolución 330 de 2017.
- Determinación del coeficiente de escorrentía ponderado para el sistema a través de Sistema de Información Geográfico.
- Determinación de la velocidad media de flujo a través de programa de modelación hidráulica.
- Estimación del tiempo real de concentración en el programa de modelación hidráulica.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

- Implementación del método racional para el cálculo del caudal pico.
- Análisis hidráulico de parámetros como velocidad máxima, capacidad, fuerza tractiva y análisis de parámetros físicos de la red.
- Formulación de propuestas de mejoramiento para el manejo del caudal total producido por el evento seleccionado.
- Realizar un presupuesto estimado basado en la lista de precios del ICCU, así como las listas de precios de tuberías PAVCO, entre otros aplicables a la ubicación del proyecto.

4 MARCO REFERENCIAL

Este trabajo de grado está basado en la modelación del sistema de alcantarillado pluvial para el municipio de Gama Cundinamarca, para el cual se le realizó la investigación de componentes como el marco geográfico, que incluye localización, clima y meteorología, geología entre otras generalidades de la zona de estudio, así mismo se describirá el marco legal bajo el cual se desarrolla el análisis correspondiente a un alcantarillado pluvial. De igual manera, se describirá en el marco teórico conceptual todos los componentes que integran el estudio de este tipo de sistemas, desde el análisis de datos hidrológicos hasta el análisis de caudales de escorrentía superficial.

4.1 MARCO GEOGRÁFICO.

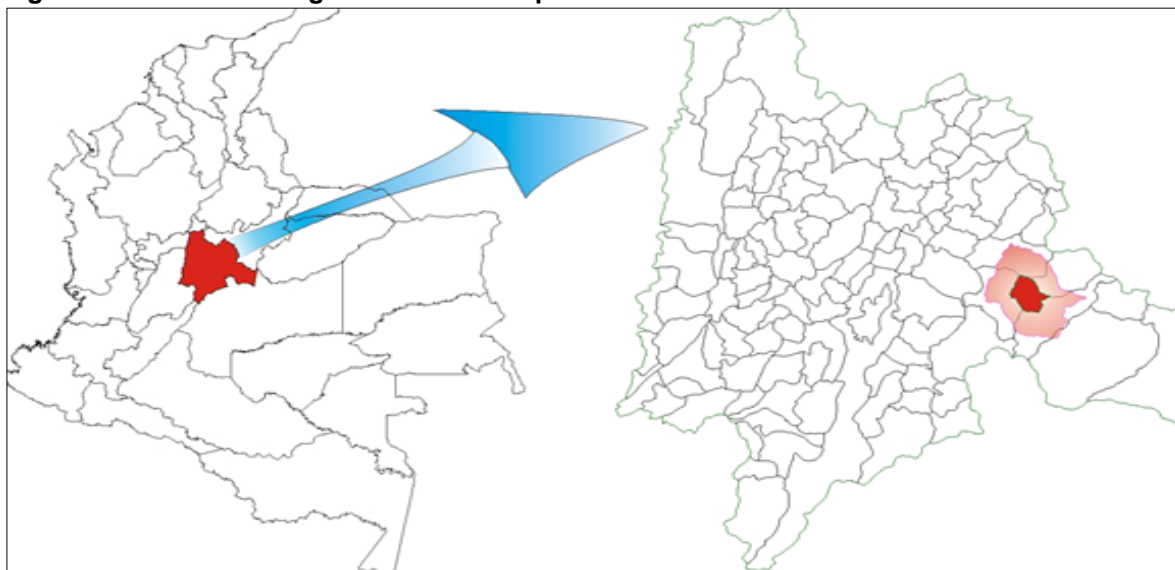
Dentro del marco geográfico se enmarcarán todas las características generales del municipio, como lo son localización, clima, temperatura, precipitación entre otros aspectos importantes.

4.1.1 Localización.

Gama es un municipio del Departamento de Cundinamarca, ubicado en la Provincia del Guavio, el cual se encuentra a 113 kilómetros de la ciudad de Bogotá. Limita por el norte con Gachetá, por el sur con Junín y Gachalá, por el oriente con Ubalá y por el occidente con Junín. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 73° 36' de longitud oeste y 4° 46' de latitud norte. Cartográficamente se ubica entre las coordenadas planas $x=1'000.000$ a $x=1'030.000$, $y=1'045.000$ y $y=1'060.000$. Tiene un área de 10732,71 Hectáreas¹.

¹ ALCALDÍA GAMA. Nuestro Municipio [en línea]. [Consultado: 30 de marzo de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.gama-cundinamarca.gov.co/indicadores.shtml/>

Figura 1. Ubicación Geográfica del municipio de Gama Cundinamarca a nivel nacional.



Fuente: Tomado de la página web alcaldía de Gama <http://www.Gama-cundinamarca.gov.co>.

Las principales características del municipio son las siguientes:

- Extensión total: El municipio tiene un área de 1073.271 Km²
- Extensión área urbana: 15 Km²
- Extensión área rural: 108 Km²
- Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2.180 msnm
- Temperatura media: 17 °C

En la siguiente figura a través de la herramienta Google Earth se puede observar la extensión del municipio.

Figura 2. Ubicación Geográfica del municipio de Gama Cundinamarca.



Fuente: Google Earth Pro.

4.1.2 Clima y meteorología.

- Temperatura:

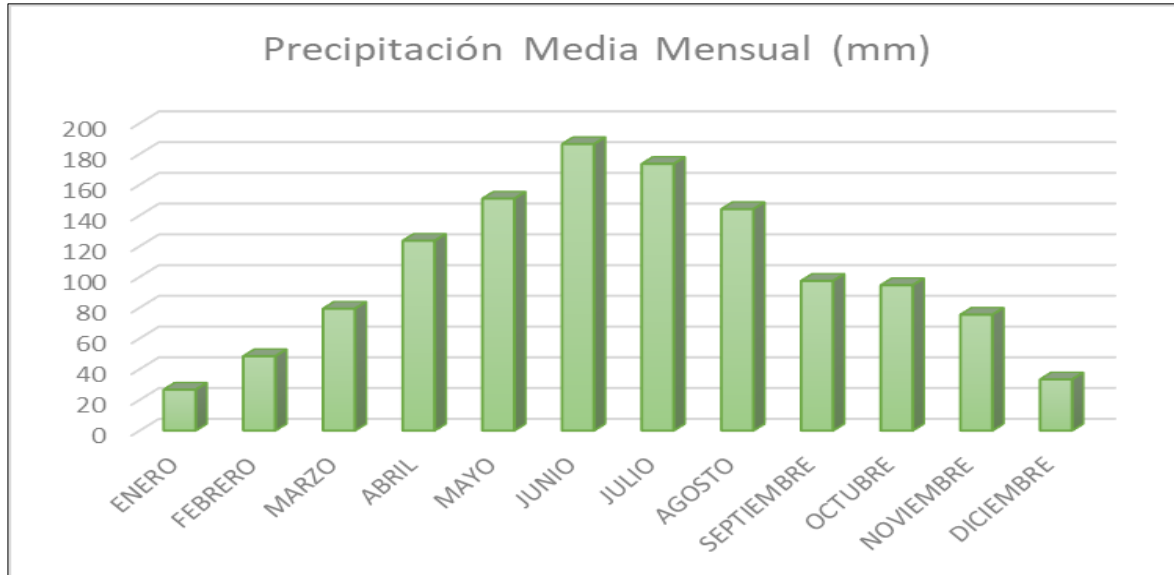
Debido a que en el municipio no se cuenta con una estación climatológica cercana, la información se obtuvo a partir de estudios efectuados por CORPOGUAVIO, en donde se establece que tanto Gama como la región del Guavio cuentan con un índice de variabilidad considerable debido a que en los meses secos (diciembre, enero, febrero) se presentan cambios de hasta 20°C durante el día y en los meses lluviosos la temperatura desciende hasta 10°C respecto al promedio de 17°C. En general las temperaturas medias tienden a ser mayores en los meses secos y menores en los lluviosos.

- Precipitación:

El municipio de Gama sólo posee una estación pluviométrica, cuyas mediciones indican que la distribución de la precipitación es de tipo monomodal, presentándose la época más lluviosa desde el mes de abril hasta noviembre, donde el aporte total de lluvia es de más o menos del 90% del total del año, siendo los meses más lluviosos junio y julio los cuales representan entre un 25 y un 30% del total anual (CORPOGUAVIO) y con un periodo seco en los meses de diciembre a marzo, que contribuyen con solo un 7 a 10% del total anual, este último evidenciándose sobre todo en la parte norte donde el clima se clasifica como frío seco. Esto se puede observar en la gráfica 1 de precipitación mensual, donde se compara al municipio de Gama con otros tres municipios vecinos presentando éste los datos más bajos en cuanto a precipitación.

Este comportamiento se evidencia en la siguiente gráfica realizada a partir de los valores medios totales mensuales de precipitación reportados por el IDEAM al año 2017.

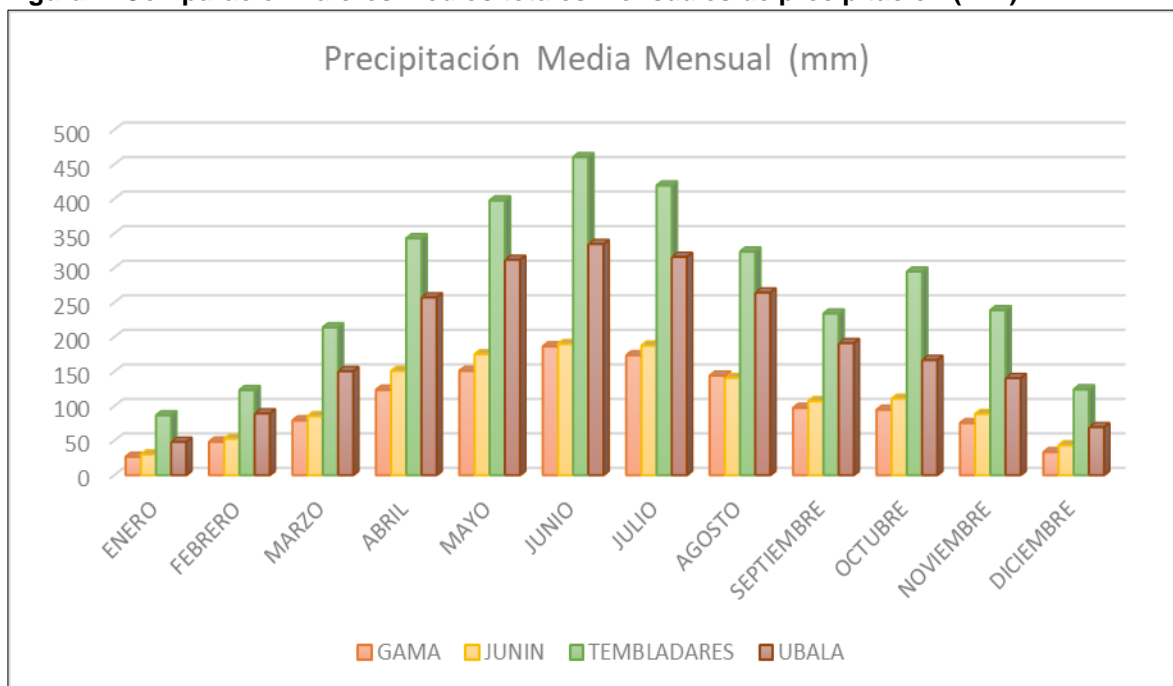
Figura 3. Valores medios totales mensuales de precipitación (mm) Estación Gama.



Fuente: *Elaboración propia, a partir de datos reportados por el IDEAM año 2017.*

De igual manera se analizaron las estaciones cercanas al municipio de Gama, para realizar una comparación del regimen de lluvias, en la siguiente gráfica se muestra el resultado obtenido.

Figura 4. Comparación valores medios totales mensuales de precipitación (mm).



Fuente: *Elaboración propia, a partir de datos reportados por el IDEAM año 2017.*

4.1.3 Geología.

La geología del municipio se encuentra relacionada directamente con la Cordillera Oriental, por lo cual esta consiste en rocas sedimentarias con inclusiones de rocas ígneas y metamórficas en donde se destacan formaciones provenientes de las eras Cenozoica y Paleozoica.

Gracias a la estructura geológica de Gama, este se encuentra dentro de una zona compleja por la cantidad de fallas que, sumadas a las altas pendientes, la convierten en un área de elevado potencial sísmico, condición que favorece la inestabilidad del terreno en varios sectores imposibilitando áreas para cultivo o para la ampliación de la zona urbana.

En la zona rural es importante destacar que se pueden materializar riesgos que al ser activados por un sismo originan deslizamientos y represamientos de cauces hídricos que pueden llegar a afectar finalmente a la población, siendo el caso de los ríos Farallones y Rucio.

En la siguiente tabla se encuentra descritos la fisiografía y las unidades y componentes del paisaje dependiendo de la unidad de suelo.



 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Tabla 1 Fisiografía y Suelos – Municipio de Gama.

CLIMA	FISIOGRAFÍA SUELOS				
Unidad	GRAN PAISAJE	PAISAJE	Sub-Paisaje	Unidad	Categorías
Frío Seco	Relieve Montañoso Estructural Denudativo	Laderas erosionales y estructuras fuertemente inclinadas	Laderas erosionales y estructuras fuertemente inclinadas	MLGe	Desarrollo socioeconómico con restricciones mayores
		Montañas en Areniscas Lutitas y Esquistos Calcáreos	Laderas fuerte mente inclinadas	MQBe	
		Colinas y Crestas Degradadas en Arcillolitas y Areniscas	Laderas erosionales escarpadas	LQAf	
		Crestas monoclinales en areniscas y arcillolitas con intercalaciones de cenizas volcánicas	Laderas estructurales escarpadas. Relieve colinado estructural denudativo	MLDf	
Frío Húmedo	Relieve Montañoso Estructural Denudativo	Crestas en areniscas y lutitas con cenizas volcánicas	Laderas estructurales escarpadas	MLFf	Desarrollo socioeconómico con restricciones mayores
		Crestas en arcillolitas limonitas cenizas volcánicas	Laderas erosionales y estructurales fuertemente inclinadas	MLGe	
		Montañas areniscas, lutitas y	Laderas fuertemente inclinadas	MQBe	

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

CLIMA	FISIOGRAFÍA SUELOS					
Unidad	GRAN PAISAJE		PAISAJE	Sub-Paisaje	Unidad	Categorías
			esquistos calcáreos			
	Vegas y Terrazas Aluviales		Terrazas y vegas aluviales	Terrazas y vegas subcrecientes	VQAa	Desarrollo socioeconómico con restricciones menores
	Relieve Estructural	Colinado	Coluvios de remoción	Superficies inclinadas a muy inclinadas	LLBc	

Fuente: Categorías establecidas por el CID con información tomada en campo y el “Estudio de Zonificación Ambiental de la Jurisdicción del CORPOGUAVIO” 1997.


4.1.4 Geomorfología.

El municipio de Gama se localiza en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, presentando generalmente un relieve abrupto y escarpado con modelados caracterizados por la división activa y profunda en sus laderas y valles, debido a esto los procesos de remoción en masa que se generen pueden llegar a ser de tal magnitud, que estos pueden convertirse en amenazas para las diferentes actividades que se realizan tanto en el área urbana como rural.

4.1.5 Usos del Suelo.

De acuerdo con lo consignado en el EOT del municipio de Gama se presentan los siguientes usos del suelo:

- Ganadería semi-extensiva tradicional o pastoreo: Se presenta en las fincas de mayor área en donde se encuentra rotación de animales en potreros lo que posibilita un manejo de los pastos. La cobertura predominante en esta unidad es el pasto y algunos árboles los cuales sirven para proporcionar sombra y protección a los animales que pastan en la finca. Su localización preferencial (no exclusiva) es en las zonas altas del municipio, contigua al bosque o selva altoandina.
- Bosque Protector en explotación por actividades agropecuarias: Se refiere a la llamada selva altoandina, se localiza en las partes altas del municipio, en


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

algunas pendientes pronunciadas en las partes bajas y a la orilla de las corrientes de agua.


- Producción agropecuaria tradicional: En Gama esta unidad de uso de suelo, se expresa en una cobertura diversa pues dentro de la misma unidad de producción se evidencian pastos variados, arbustos y árboles frutales, como también cultivos de pancoger en donde tiene predominancia el maíz. Todos estos elementos aluden a la complejidad de esta forma de producción que es la sobresaliente en el Municipio.
- Agricultura semi-tecnificada: En Gama se refiere exclusivamente al cultivo de “lulo”. Esta es una actividad cuya producción está dirigida por reglas científico-técnicas para posibilitar una alta productividad de la tierra y por tanto se encuentra por fuera de la producción de la economía campesina. El mercado al que sirve esta actividad es principalmente el de Bogotá.
- Áreas degradadas: Gama cuenta con alta susceptibilidad de ocurrencia para este tipo de eventos.
- Cabecera municipal y centros poblados: La última unidad de cobertura y uso del suelo se refiere a la cabecera municipal y la inspección de San Roque. Estas unidades espaciales son predominantemente residenciales con especialización también en el comercio minorista y a los servicios comunitarios e institucionales.

En el casco urbano del municipio se encuentran los siguientes tipos de uso del suelo:

- Uso residencial: La zona urbana cuenta con un total de 143 viviendas, las cuales oscilan entre los 55 y 95m² de superficie ocupada, el uso depende del propietario sin contar con límites normativos o de planificación urbana.
- Uso comercial, industrial y mixto: El uso comercial y de servicios es reducido, en el área urbana no se encuentran sectores o franjas comerciales específicas, el porcentaje de predios con comercio en general incluyendo el comercio de alto, medio y bajo impacto es el 5%. Dentro de ese uso encontramos establecimientos variados como una bomba de gasolina y en general diferentes tipos de negocios. En esta clasificación encontramos que el 9% de las construcciones tienen un uso mixto, representado en vivienda y pequeños negocios, con bajo nivel de consolidación y sin ubicación específica dentro del casco urbano.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

- **Uso institucional e histórico:** Los predios destinados a este tipo de uso corresponde al 11% (34 construcciones) del total de los predios existentes, en lo referente al uso institucional se encuentra la parte administrativa, educativa, cultural, mercado, entre otros.
- **Suelo de desarrollo habitacional:** Se cuenta con un área de aproximadamente 43,18 ha, equivalentes al 29,33% del área total del casco urbano para el desarrollo de este tipo de uso, cabe destacar que gracias al valor de los predios urbanizables y de los predios no urbanizados ubicados al interior del perímetro urbano, sumados a la tendencia y tasa de crecimiento, se puede establecer que si para el año 2012 el municipio conserva la tendencia actual, este no requeriría de una zona de desarrollo habitacional, ya que con el área que cuenta, supliría la demanda de este escenario. Sin embargo, para efectos de controlar un intempestivo crecimiento por cualquier circunstancia, similar al pico migratorio que generó la construcción del embalse, se plantea una zona de “desarrollo habitacional” o reserva de terreno debidamente proyectada, con todas las condicionantes que esto requiere (vías, posibilidad de servicios públicos domiciliarios, potencialidad y capacidad topográfica, entre otros.)
- **Suelo de Protección:** El área que posee una mayor incidencia en lo referente a conflictos ambientales, es la correspondiente a la de las laderas de la quebrada los Robles, que en la actualidad genera afectaciones sobre los predios que la bordean, también se encuentra la sección que bordea la parte baja del cerro del santuario debido a que se puede considera un colchón ambiental entre el casco urbano y la montaña por esta razón es la zona potencialmente más viable para ser declarado como de protección ambiental, que logrando un manejo especial, pueda ser también una gran extensión con actividades de recreación activa y pasiva.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

4.2 MARCO LEGAL.

A continuación, se presentan los parámetros de diseño para redes de alcantarillado pluvial presentados en el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento básico y La Resolución 0330 de 2017.

4.2.1 Periodo de diseño

El periodo de diseño para todos los componentes del presente proyecto según lo establecido en La resolución 0330 de 2017 es de **25 años**.

4.2.2 Áreas de drenaje

El trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural.

4.2.3 Caudal de diseño


La estimación de los caudales de aguas lluvias para el diseño de colectores y canales se debe realizar mediante modelo lluvia – escorrentía, basados en modelos de abstracciones. Para el caso del proyecto que el área de drenaje es inferior a 80 Ha se permite utilizar el método racional.

Para la estimación del caudal de diseño se usó el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. La ecuación del método racional es

$$Q = 2.78 * C * i * A$$

De acuerdo con el método racional, el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, y éste es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

- El caudal pico en cualquier punto es una función directa de la intensidad i de la lluvia, durante el tiempo de concentración para ese punto.
- La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.
- El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

media de la lluvia por la relación anotada en el punto 1 anterior.

4.2.4 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, C , es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño. Para áreas de drenaje que incluyan sub áreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas. RAS-2.000. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales y Pluviales

4.2.5 Diámetro mínimo

En las redes de recolección y evacuación de aguas lluvias, y principalmente en los primeros tramos, la sección circular es la más usual para los colectores. El diámetro nominal mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias es 260 mm.

4.2.6 Velocidad mínima

Las aguas lluvias transportan sólidos que pueden depositarse en los colectores si el flujo tiene velocidades reducidas. Por lo tanto, debe disponerse de una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante periodos de caudal bajo. Por esto, la velocidad mínima permitida en el colector de alcantarillado pluvial o combinado es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de **2.0 Pa**. Los criterios de velocidad y esfuerzo cortante se deben determinar para el caudal de diseño en las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño.

4.2.7 Velocidad Máxima

La velocidad máxima en un colector por gravedad no debe sobrepasar 5.0 m/s, determinada para el caudal de diseño. En aquellas condiciones que se presente pendientes superiores al 30%, caudales superiores a 500 l/seg y diámetros iguales o superiores a 600 mm, se permitirán velocidades máximas permisibles por el material de la tubería, en todo caso no deberá sobrepasar velocidad de 10 m/seg.

4.2.8 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería.

La profundidad del flujo en colectores de aguas lluvias para el caudal de diseño será máximo del **93%** del diámetro interno real de éste, correspondiente a flujo lleno.

4.2.9 Profundidad mínima

La profundidad mínima a la cota clave de los colectores de aguas lluvias deben seguir los mismos criterios que los sistemas de alcantarillado sanitario, título 14.1.6, en donde se establece 0.75 para vías peatonales y 1.20 para vehiculares.

4.2.10 Profundidad Máxima

De igual manera la profundidad máxima está determinada de acuerdo con lo establecido para el sistema sanitario, en donde se plantea una profundidad máxima de 5m.

4.2.11 Criterios de evaluación estructuras complementarias de las redes de alcantarillado.

4.2.11.1 Pozos de inspección


El diámetro interno de la estructura de conexión debe definirse con las condiciones hidráulicas y geométricas del empalme de las tuberías, garantizando que se conecten a la estructura sin cruzarse entre sí. En la siguiente tabla se presentan los diámetros mínimos recomendados por la Resolución 330 de 2017.

Tabla 2. Diámetro interno mínimo de la estructura de conexión

Mayor diámetro de las tuberías conectadas (mm)	Diámetro interno de la estructura (m)
De 200 a 500	1.20
Mayor de 500 hasta 750	1.50
Mayor de 750 hasta 900	1.80

Fuente: Tabla 19 de la Resolución 330 de 2017.

Para instalar una tubería se debe adoptar un sistema que absorba los movimientos diferenciales entre la tubería y la estructura, y los esfuerzos que se generen por esta causa. Para tuberías rígidas, se instalará una banda de material elástico alrededor de un tramo de tubo empotrado en el cilindro de la estructura, la banda tendrá un ancho igual al espesor del muro menos 2 cm, de forma que centímetro a cada extremo donde se aplicará un cordón de material sellante elástico. Para tuberías flexibles con acople mecánico se debe instalar una unión a la llegada de la estructura de acuerdo con las recomendaciones del fabricante; la unión debe quedar

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

adherida externamente a la estructura y el tubo se instala en la unión.

Todas las estructuras de conexión deben tener cañuela en el fondo, con el fin de disminuir las pérdidas de energía. El ancho de la cañuela debe ser como mínimo el ancho del diámetro interno de la tubería de menor tamaño que se conecte a la estructura y crecer en forma gradual hacia la tubería de salida.

Las estructuras deben tener impermeabilización interna y externa.

4.2.11.2 Cámaras de caída.


Estas estructuras deben cumplir con los siguientes requisitos.

- El colector que llegue a una estructura de conexión con una diferencia de nivel entre las cotas bateas mayor a 0.75 m, respecto del colector de salida, debe entregar mediante una cámara de caída. Para desniveles mayores a 7.0 metros se deben diseñar estructuras de disipación de energía.
- El diámetro interno real de la tubería de la cámara de caída debe ser el indicado en la siguiente tabla. Si la tubería de entrada tiene un diámetro interno real mayor de 900 mm, debe diseñarse una transición entre el colector y la estructura de conexión que garantice la reducción de energía.

Tabla 3. Diámetro de la cámara de caída en función del diámetro de la tubería de entrada

Diámetro interno real de la tubería de entrada (D)	Diámetro interno real mínimo de la tubería de la cámara de caída.
$D \leq 300 \text{ mm}$	170 mm
$300 \text{ mm} > D \leq 450 \text{ mm}$	280 mm
$450 \text{ mm} > D \leq 900 \text{ mm}$	360 mm

Fuente: Tabla 20 de la Resolución 330 de 2017.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

4.3 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

4.3.1 Análisis Estadístico

Para la consecución del análisis hidráulico a las redes de alcantarillado pluvial se debe partir de los datos pluviométricos registrados por el IDEAM o por la CAR en su defecto, a estos datos proporcionados es necesario realizarles algunos procedimientos para poder obtener las precipitaciones máximas esperadas para diferentes periodos de retorno.

4.3.1.1 Complemento de datos faltantes

Es muy común encontrar datos faltantes en las estaciones, en ocasiones por la ausencia o negligencia del operario o por problemas con el aparato de medición durante determinado tiempo. Es necesario completar estos datos, ya que el análisis hidrológico exige series continuas. Para realizar esto se puede usar la siguiente ecuación. Este método es válido siempre y cuando haya estaciones vecinas que tengan series de datos del mismo año².

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right]$$

Donde,

n = número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanas a la estación “x”, la cual va a ser completada en su registro.


Px = Precipitación en la estación “x” durante el periodo de tiempo por completar.

P1 a Pn = Precipitación de las estaciones 1 a n durante el periodo de tiempo por completar.

N1 = precipitación media anual a nivel multianual de la estación “x”

N1 a Nn = precipitación media anual a nivel multianual de las estaciones de 1 a n

² MONSALVE, Germán. Hidrología en la Ingeniería. 2 ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999. p. 84.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

4.3.1.2 Distribución de datos mensuales multianuales

Debido a que el tiempo que abarcan los registros de precipitación de las estaciones pluviométricas es considerablemente corto no es posible determinar una distribución de frecuencias que sea apropiada para analizar las probabilidades asociadas a la variación de la precipitación. Varios autores han sugerido varias distribuciones a partir de diferentes ensayos hechos que llegan a ajustarse a los datos de una o varias estaciones.³

Las principales distribuciones utilizadas son Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson Tipo III.

4.3.1.2.1 Distribución Gumbel (Valores Extremos Tipo I)

“Los valores extremos son valores máximos o mínimos seleccionados de conjuntos de datos. Por ejemplo, el caudal máximo anual en un lugar dado es el mayor caudal registrado durante un año y los valores de caudal máximo anual para cada año de registro histórico conforman un conjunto de valores extremos que puede analizarse estadísticamente”⁴

La función que describe la densidad de probabilidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{\left[\frac{-x-\beta}{\alpha} - e^{\left(\frac{-x-\beta}{\alpha} \right)} \right]}$$

Donde,

α , β = parámetros de la distribución y se estiman con las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S$$

$$\beta = \bar{x} - 0.5772\alpha$$


Donde,

S = desviación estándar de los valores máximos,

\bar{x} = media o promedio de la variable aleatoria.

³ LINSLEY, Ray y KOHLER, Max y PAULUS, Joseph. Hidrología para ingenieros. 2 ed. Colombia: McGRAW-HILL Latinoamerica, S.A. 1977. p. 283.

⁴ CHOW, Ven Te, y MAIDMENT, David y MAYS, Larry. Applied Hydrology. 1 ed. Estados Unidos: McGRAW-HILL. 1988. p. 376.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

La evaluación de esta distribución a través del tiempo inicia con el cálculo de la variable reducida según la siguiente ecuación.

$$P_0(x) = -\ln \left[\ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right]$$

Donde,

T_r = Periodo de retorno, en años [años]

$P_0(x)$ = Probabilidad de ocurrencia, [adimensional]

Posteriormente se calcula la precipitación probable futura para esta distribución de la siguiente manera:

$$X_t = \beta + \alpha * P_0$$

4.3.1.2.2 Distribución Normal

“La distribución normal surge del teorema del límite central, el cual establece que, si una secuencia de variables aleatorias X_i son independientes y están idénticamente distribuidas con media μ y varianza σ^2 , entonces la distribución de la suma de n de estas variables aleatorias tiende hacia la distribución normal con media $n\mu$ y varianza $n\sigma^2$ a medida que n aumenta”⁵.

La función que describe la densidad de probabilidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]}$$


Esta función tiene un rango de aplicación desde menos infinito hasta infinito. Donde,

σ = desviación estándar de los valores máximos,

μ = media o promedio de la variable aleatoria.

La función anterior puede ser simplificada definiendo la variable normas estándar z como:

⁵ CHOW, Ven Te, y MAIDMENT, David y MAYS, Larry. Applied Hydrology. 1 ed. Estados Unidos: McGRAW-HILL. 1988. p. 382.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

La magnitud X_t para esta distribución puede expresarse como la media de los datos de precipitación más una desviación de la variable con respecto a la media.

$$X_t = \mu + \Delta_{Xt}$$

Esta de desviación con respecto a la media puede expresarse como la desviación estándar de los datos hidrológicos por un factor de frecuencia denominado K_T .

$$X_t = \mu + K_T \sigma$$

El factor de frecuencia puede expresarse reordenando la ecuación anterior como:

$$K_T = \frac{X_t - \mu}{\sigma}$$

Esto como se puede observar corresponde con la variable estándar z definida anteriormente, donde el valor z corresponde a una probabilidad de excedencia de $p(p=1/T)$ y que puede calcularse encontrando el valor de una variable intermedia w y posteriormente la variable z ⁶.


$$w = \left[\ln \frac{1}{p^2} \right]^{0.5}$$

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$

Donde la magnitud X_t quedaría definida por:

$$X_t = \mu + z\sigma$$

⁶ CHOW, Ven Te, y MAIDMENT, David y MAYS, Larry. Applied Hydrology. 1 ed. Estados Unidos: McGRAW-HILL. 1988. p. 390.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

4.3.1.2.3 Distribución Log Normal

Funciona de manera similar a la distribución normal, solo que las variables de desviación estándar y la media se realiza sobre el logaritmo de cada uno de los datos de precipitación o caudal.

4.3.1.2.4 Distribución Pearson Tipo III

El método de esta distribución se aplica de la siguiente manera:

- Calcular la media \bar{X} de los n valores máximos anuales hidrológicos X_i
- Calcular la desviación estándar S de los n valores máximos anuales hidrológicos X_i
- Calcular el coeficiente de oblicuidad o asimetría C_s de los n valores máximos anuales hidrológicos X_i
- Calcular:

$$X_t = \mu + Kt\sigma$$

Donde,

σ = desviación estándar de los valores máximos,

μ = media o promedio de la variable aleatoria.

Y K_t se obtiene del cuadro 3A.2 con el coeficiente de asimetría positivo o negativo y el periodo de retorno (o la probabilidad de excedencia) conocidos⁷.


4.3.1.2.5 Prueba de bondad de ajuste

La prueba de Kolmogorov – Smirnov es una prueba no paramétrica que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

Para cada serie de datos, habrá dado como resultado seis valores de precipitación máxima por cada periodo de retorno analizado. Se escogió entonces el mejor ajuste probabilístico según la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Komogorov.

La prueba considera la desviación de la función de la distribución de probabilidad de la muestra $P(x)$ de la función de probabilidades teórica, escogida $P_o(x)$. Para esto se calculó la probabilidad de ocurrencia de cada valor máximo de la serie de datos de cada estación, $P_o(x)$, y se comparó con la probabilidad teórica $P(x)$.

⁷ MONSALVE, Germán. Hidrología en la Ingeniería. 2 ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999. p. 121.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

$$P(x) = \frac{m}{n}$$

Donde,

m = el rango que se asigna a cada uno de los valores ordenados de forma creciente

n = número de datos total


El software Microsoft Excel, permite calcular para las distribuciones los valores de $f(x)$ para los valores ordenados de precipitación o caudal.

Una vez se ha calculado el $P_0(x)$ de cada distribución se aplica la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov según la siguiente ecuación. La prueba requiere que el valor D_n calculado sea menor que el tabulado según la siguiente tabla, la cual tiene un nivel de confianza del 95%. Hay que tener en cuenta que n es el tamaño de la muestra.

$$D_n = \max[P(x) - P_0(x)]$$

Tabla 4. Tabla de ajuste Smirnov – Kolmogorov, con un nivel de confianza del 95%.

n	0.05	n	0.05
1	0.975	34	0.229
2	0.842	35	0.226
3	0.708	36	0.223
4	0.624	37	0.220
5	0.563	38	0.216
6	0.519	39	0.213
7	0.483	40	0.210
8	0.454	41	0.167
9	0.430	42	0.165
10	0.409	43	0.163
11	0.391	44	0.161
12	0.375	45	0.160
13	0.361	46	0.158
14	0.349	47	0.156
15	0.338	48	0.154
16	0.329	49	0.153
17	0.320	50	0.151
18	0.312	51	0.150
19	0.303	52	0.148
20	0.294	53	0.147
21	0.288	54	0.146
22	0.282	55	0.144
23	0.276	56	0.143
24	0.270	57	0.142
25	0.264	58	0.140

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

n	0.05	n	0.05
26	0.260	59	0.139
27	0.255	60	0.138
28	0.251	61	0.137
29	0.246	62	0.136
30	0.242	63	0.135
31	0.239	64	0.134
32	0.236	65	0.133
33	0.232	66	0.132
		n grande >40	$1.36/n^{(1/2)}$

Fuente: Molin, P., Abdi H. (1998). New Tables and numerical approximation for the Kolmogorov- Smirnov/Lilliefors/Van Soest test of normality, University of Bourgogne.

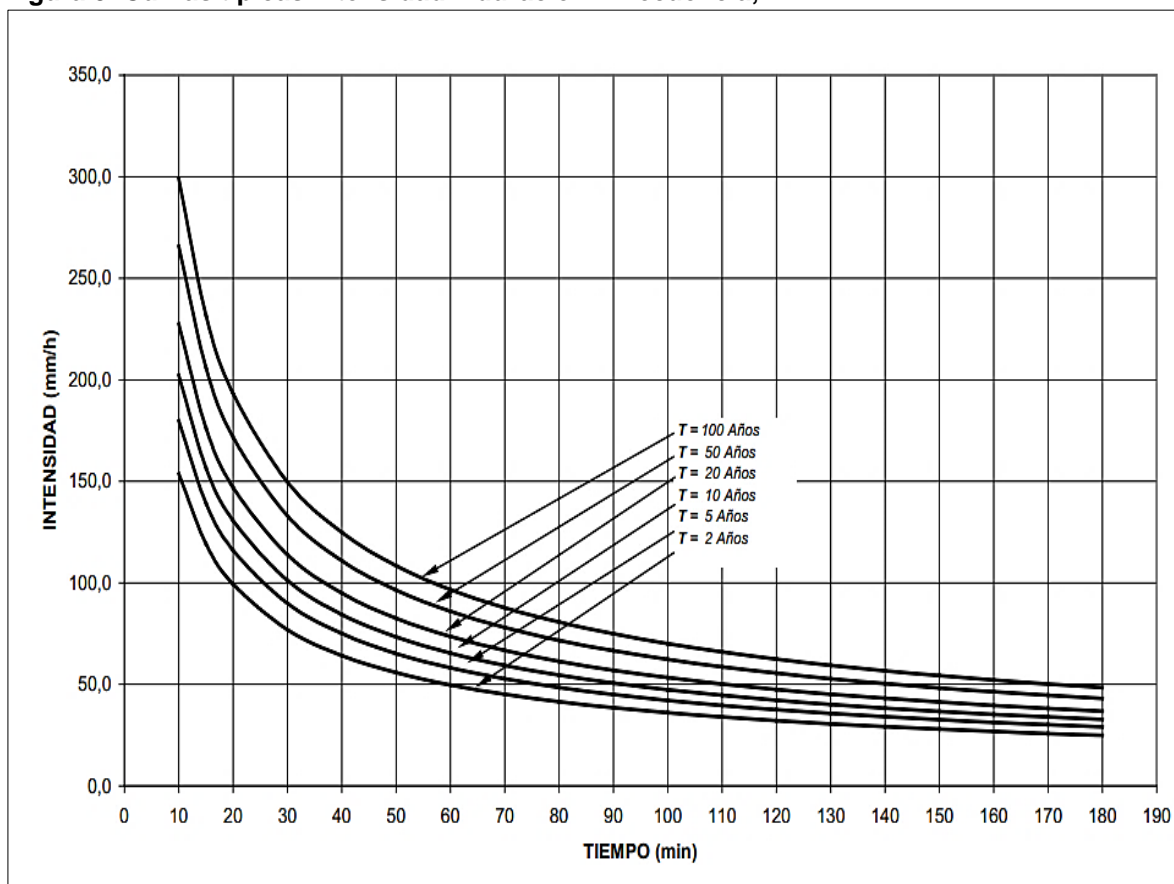
La prueba requiere que el valor D_n calculado con la ecuación anterior sea menor que el valor tabulado en la siguiente tabla para que la prueba sea aceptada y se pueda tener en cuenta la serie de valores calculados para cada periodo de retorno, se deben seleccionar los valores máximos de la distribución que genere un D_n mayor.

4.3.2 Curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno⁸. En la siguiente figura se muestra la representación gráfica que tienen estas curvas.

⁸ TEMEZ, José. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. España: Dirección General de Carreteras. 1978. p. 111

Figura 5. Curvas típicas intensidad – duración – frecuencia, IDF.



Fuente: Invias, *Manual de drenaje para carreteras*, 2009.

Para la construcción de este tipo de curvas se pueden utilizar diferentes métodos, para este documento se expondrán a continuación dos métodos con los cuales se estimarán estos valores para el desarrollo del proyecto. El primer método es el método simplificado consignado en el manual de drenaje del INVIAS⁹, y el segundo método desarrollado por Aparicio por medio de regresiones.

4.3.2.1 Cálculo de curvas IDF por método simplificado

La metodología simplificada de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos).

⁹ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Ministerio de Transporte. Manual de drenaje para carreteras. Diciembre de 2009. p. 2-71.

Para Colombia se desarrolló un método de curvas IDF regionalizadas de manera sintética¹⁰. En este estudio se dedujeron curvas intensidad-duración-frecuencia por medio de correlaciones de la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, el número promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la elevación de la estación.

Con la precipitación máxima anual en 24 se obtuvo la mejor correlación y es la que se propone para realizar la estimación de la intensidad e precipitación, además de la sencillez en la aplicación del método, la siguiente ecuación muestra la correlación recomendada.

$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Dónde:

I: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

T: Periodo de retorno, en años.

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual

t: Duración de la lluvia, en minutos (min)

a, b, c, d: parámetros de ajuste de la regresión definidos regionalmente y consignados en la siguiente tabla.

Tabla 5. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia.

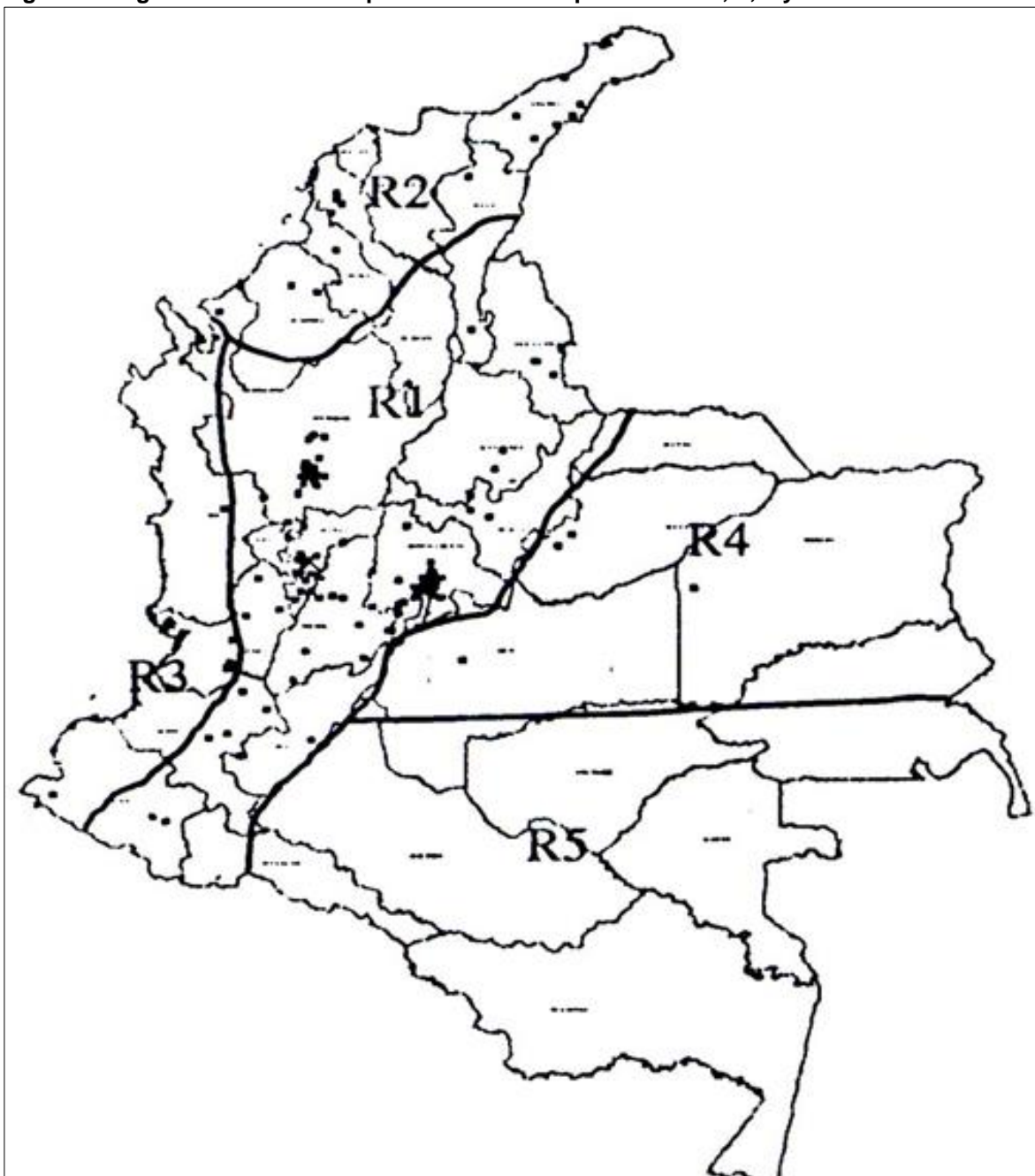
REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.2
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Invias, Manual de drenaje para carreteras, 2009.


En la siguiente figura se presenta esquemáticamente cada una de las regiones para la aplicación del método.

¹⁰ VARGAS M.R., DÍAZ-GRANADOS O.M., Universidad de los Andes, “Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia”, Santafé de Bogotá. 1998

Figura 6. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d.



Fuente: Invias, Manual de drenaje para carreteras, 2009.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

4.3.2.2 Cálculo de curvas IDF con datos históricos de precipitación

Para el cálculo de las curvas intensidad duración frecuencia con datos históricos de precipitación en las estaciones pluviográficas de la zona de estudio se debe seguir el siguiente procedimiento¹¹:

- Definir una estación provista de pluviógrafo, representativa de la cuenca hidrográfica de análisis.
- Para cada año de registros históricos, seleccionar los aguaceros de corta duración más intensos.
- Se selecciona una duración específica del aguacero. Se comienza usualmente con 10 min de duración. Para cada aguacero se selecciona la máxima precipitación en 10 min.
- Para cada año, se selecciona la precipitación máxima (en este caso para 10 min de duración), de todos los aguaceros de ese año.
- Lo anterior da como resultado una muestra de datos de precipitación máxima anual para todos los años analizados (para 10 min de duración en este caso)
- La muestra de datos se ajusta a una distribución probabilística conocida (Gumbel y Log-Pearson Tipo III, por ejemplo) y se hacen inferencias estadísticas, calculando los valores de precipitación para periodos de retorno, por ejemplo, de 2, 3, 5, 20, 50 y 100 años.
- Se repite el procedimiento anterior para duraciones totales de la lluvia iguales a 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 y 180 min.
- Se calculan o trazan curvas de mejor ajuste a los datos resultantes anteriores, obteniéndose curvas de intensidad de precipitación para cada uno de los periodos de retorno mencionados y duraciones entre 10 y 180 min. Esta familia de curvas tiene una forma semejante y, usualmente, se pueden ajustar con todos los datos resultantes a una ecuación del tipo:

$$i = \frac{K \times T^m}{(t + t_o)^n}$$

Dónde:


I: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

T: Periodo de retorno, en años.

t: Duración de la lluvia, en minutos (min).

K, n, m, to: Parámetros de ajuste

¹¹COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Ministerio de Transporte. Manual de drenaje para carreteras. Diciembre de 2009. p. 2-71.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

4.3.3 Determinación de Caudales.

Para la determinación de los caudales pluviales se debe tener en cuenta principalmente el área de drenaje de cada una de las subcuencas de alcantarillado, así como el tiempo de concentración de cada una de las áreas de drenaje.

4.3.3.1 Áreas de drenaje.

El área de drenaje son las zonas que por composición topográfica aportan volumen de agua a las tuberías de drenaje, estas en zonas urbanas se determinan por medio del trazado de diagonales o bisectrices por las manzanas y la planimetría correspondiente, en esta determinación de igual manera debe tener en cuenta el sistema de drenaje natural¹², según la altimetría de la zona, para definir la totalidad de la cuenca y subcuencas se pueden utilizar con base en las condiciones topográficas diferentes herramientas computacionales como ArcGIS.

Con base en el resultado obtenido de las áreas de drenaje de las subcuencas del alcantarillado se selecciona el método para estimar el caudal correspondiente a esta área con una intensidad de precipitación dada.

4.3.3.2 Caudal de diseño.

Para determinar el caudal existen dos métodos principales que se utilizan en este tipo de sistemas, el primer método es el método racional y es segundo método son los modelos de lluvia escorrentía, la aplicación de uno u otro depende del área de drenaje. El método racional se podrá usar siempre y cuando el área sea menor a 80 hectáreas por cada una de las descargas¹³.


4.3.3.2.1 Método racional.

El método racional relaciona el flujo con la intensidad de la lluvia descrita anteriormente, las áreas tributarias y un coeficiente que representa los efectos combinados de almacenamiento en depresiones, percolación y evaporación¹⁴. El

¹² LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2 ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2003. p. 430.

¹³ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330. (8, junio, 2017). Por la cual se adopta el reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Bogotá: El Ministerio, 2017. p. 85.

¹⁴ McGHEE, Terence Y STEEL, E. W. Water Supply and Sewerage. 5 ed. Estados Unidos: McGRAW-HILL. 1979. p. 320.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

volumen total que cae sobre un área, por unidad de tiempo bajo una lluvia de intensidad es:

$$Q_{prec} = iA$$

Del total del volumen de precipitación una parte se pierde por los tres fenómenos descritos anteriormente, está perdida no es constante, pero puede estimarse de acuerdo con las condiciones del suelo.

$$Q = CiA$$

Si la intensidad de la lluvia i , se expresa en unidades de mm/h se utiliza un factor de conversión de 2.78 para trabajar con l/s*ha.

En la siguiente tabla se relacionan los coeficientes de escorrentía c , consignados en la normatividad RAS 2000¹⁵.

Figura 7. Coeficientes de impermeabilidad.


Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Fuente: RAS 2000, Título D tabla D.4.7.

Para determinar el coeficiente para cada una de las áreas de drenaje se debe hacer una ponderación dependiendo de las áreas parciales de cada tipo de superficie.

En la nueva resolución de regulación de saneamiento básico para Colombia, se expresa que este método es recomendado para áreas de drenaje inferiores a 80 Ha.

¹⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 1096. (17, noviembre, 2000). Por la cual se adopta el reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Título D. Bogotá: El Ministerio, 2000. p. 97.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

4.3.3.2.2 Método de lluvia escorrentía.

Este moderno método de análisis de transformación de lluvia a escorrentía superficial incluye el análisis de modelos de infiltración como el de Horton, Soil Conservation Service y el de Green y Ampt.

Este método es recomendado en el caso de que el área de drenaje de cada una de las cuencas de drenaje supere las 80 Ha o en el caso de que se requiera realizar un análisis en flujo no permanente. Para estos métodos se deben obtener los hidrogramas de precipitación efectiva luego de haber aplicado cualquier método de infiltración, de los mencionados anteriormente.

Para este análisis se recomienda usar el método desarrollado e implementado en el programa SWMM¹⁶ de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos.

En este método es necesario idealizar cada una de las cuencas de drenaje que llegan a cada uno de los sumideros de recolección y evacuación de las aguas lluvias como canales rectangulares que tengan como características principales una pendiente y un coeficiente de rugosidad constantes. Para lograr esto es necesario determinar la longitud y ancho hipotético del canal. Para determinar esta longitud se tienen dos casos:

- Captación simétrica:

$$L = A/(2W)$$

Donde:

L= Longitud hipotética de la cuenca (m)

A= Área tributaria (m²)

W= Longitud del sistema de captación principal (m).

- Captación asimétrica:

$$L = A/(W)$$

Donde:

L= Longitud hipotética de la cuenca (m)

¹⁶ ROSMAN, L. Storm Water Management Model User's Manual v 5.1. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati. Estados Unidos. 2015.

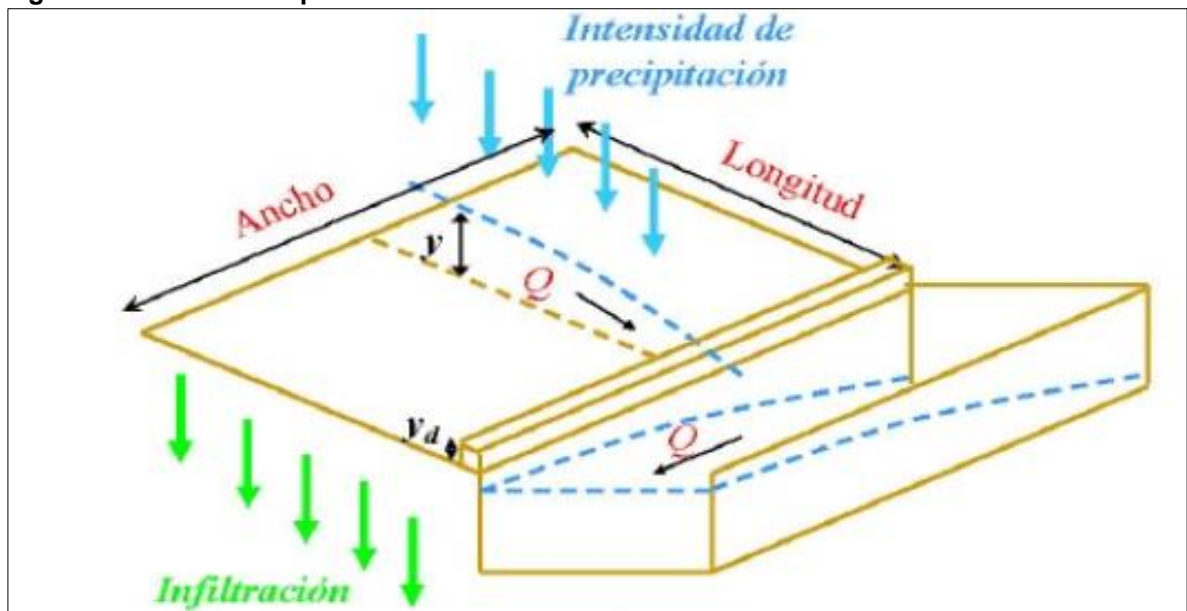
$A =$ Área tributaria (m^2)

$W =$ Longitud del sistema de captación principal (m).

Una vez determinado la longitud hipotética de la cuenca y conociendo el área propia de esta se determina el ancho como el área sobre la longitud. Luego de idealizar cada una de las áreas tributarias se podrá determinar el hidrograma de escorrentía directa para cada una, aplicando un modelo de infiltración junto con un modelo de flujo uniforme basado en la ecuación de Manning.

El modelo que rige lo descrito anteriormente se representa en la siguiente ilustración.

Figura 8. Modelo conceptual del método SWMM.



Fuente: RAS 2000, Título D tabla D.4.1.

Las ecuaciones que describen este fenómeno son las siguientes:


$$iL = \left(fl \times \frac{Q}{B} \right) + L \times \left(\frac{\Delta y}{\Delta t} \right)$$

$$Q = B \times \frac{1}{n} \times S^{0.5} \times (y - y_d)^{5/3}$$

Donde:

$L =$ Longitud de flujo en la hipotética cuenca (m).

$B =$ Ancho de la hipotética cuenca (m).

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

n = Coeficiente de rugosidad de Manning (s/m^{1/3}).

y_d = Profundidad de almacenamiento de la cuenca (m).

y = Nivel del agua en la hipotética cuenca para cada paso de tiempo (m).

i = Intensidad de precipitación (m/s).

f = Tasa de infiltración de la cuenca (m/s).

Q = Caudal de escorrentía directa (m³ /s).

t = Paso de tiempo (s).

S = Pendiente del canal (m/m).

El caudal calculado por medio de estas ecuaciones corresponde al caudal de escorrentía directa producido por el área tributaria durante el periodo de precipitación evaluado.

A continuación, se describen los métodos de infiltración más utilizados para encontrar la precipitación efectiva.

4.3.3.2.2.1 Modelo de Infiltración de Horton.

Este modelo indica que todo suelo presenta una capacidad de infiltración inicial y final, y además tiende a alcanzar la condición de infiltración definitiva con una tasa de decaimiento particular¹⁷. En la siguiente ecuación se describe este modelo de infiltración.

$$F = f_{\alpha} \times T_d + \frac{(f_o - f_{\alpha})}{\alpha} \times (1 - e^{-\alpha T_d})$$

Donde:


F = Profundidad de infiltración acumulada (m).

T_d = Tiempo de duración (s).

f_{α} = Tasa de infiltración final del suelo (m/s).

f_o = Tasa de infiltración inicial del suelo (m/s).

¹⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 1096. (17, noviembre, 2000). Por la cual se adopta el reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Título D. Bogotá: El Ministerio, 2000. p. 85.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

α = Coeficiente de decaimiento (s-1).

Los valores $f\alpha$, f_0 y α dependen del tipo de suelo y están definidos por tablas, sin embargo, se recomienda realizar la determinación de estos parámetros para diferentes valores de humedad inicial, a partir de un estudio de permeabilidad del suelo en algunas zonas puntuales a lo largo de toda la longitud del proyecto.

4.3.3.2.2 Modelo de Infiltración SCS.

Este método desarrollado por el entonces Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos permite conocer la precipitación efectiva que produce un evento de lluvia determinado, el método se basa en asignar un numero de curva (CN) característico para cada una de las cuencas de drenaje, dependiendo de las características de permeabilidad de cada una de ellas, la fórmula para estimar el caudal de escorrentía directa es la siguiente:

$$P = \frac{(P_t - 0.20S)^2}{(P_t - 0.80S)}$$

Donde:

P= Profundidad de precipitación efectiva (m)


S= Retención potencial máxima (m).

P_t= Profundidad de precipitación total (m).

El valor S de retención máxima se puede encontrar mediante el numero de curva asignado de la siguiente manera:

$$S = 25.4 \times \left(\frac{1000}{CN} \right) - 10$$

Donde el valor de CN depende de tres parámetros característicos del suelo, el grupo hidrológico, los antecedentes de humedad y el uso del suelo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>PROYECTO DE GRADO</p> <p>PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA</p>	<p>FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1</p>
---	---	---

4.3.3.2.3 Modelo de infiltración de Green y Ampt.

Este es un método simplificado que se basa en el uso de la aplicación de las ecuaciones de conservación de la masa o continuidad y de conservación de momentum sobre un volumen de control del suelo.

- Ecuación de continuidad

$$F(T) = L \times \left(\frac{\mu - \theta_i}{100} \right) = L(M)$$

Donde:

F=Profundidad de infiltración acumulada (m).

L= Profundidad del estrato saturado de suelo (m).

μ = Porosidad del suelo (volumen de agua contenido en condiciones de saturación) (%).

θ_i = Humedad inicial del suelo durante el período de tiempo (%).

T= Período de tiempo (s).


M= Variación de la humedad en el suelo durante el período de tiempo (adimensional).

Se recomienda que parámetros como la porosidad, la altura de succión y la permeabilidad del suelo se determinen mediante ensayos de campo y laboratorio.

4.3.3.3 Tiempo de concentración.

Se ha logrado demostrar que el caudal máximo será producido si la duración de la lluvia es igual al tiempo de concertación de la lluvia en el área drenada, sabiendo que el tiempo de concentración es el tiempo que tarda una gota de agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el colector, en otras palabras, es el tiempo de recorrido desde el comienzo de la lluvia en el que toda el área contribuye a la tubería en cuestión.¹⁸

¹⁸ LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2 ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2003. p. 433.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

Este tiempo de concentración puede dividirse en 2, en el tiempo de concentración inicial y el tiempo de recorrido en la tubería, el primer tiempo es el tiempo que tarda en llegar al punto de entrada la primera gota de agua del evento de lluvia, este depende de las características del suelo, así como de la pendiente, para calcular este tiempo se suele utilizar la siguiente ecuación:

$$Ti = \frac{0.707 \times (1.1 - C) \times L^{0.5}}{S^{1/3}}$$

Donde:

Ti= Tiempo de entrada (min).

C= Coeficiente de impermeabilidad (adimensional).

L= Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).

S= Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m).

El segundo tiempo es el tiempo de recorrido en la tubería, es el período de tiempo que le toma al agua lluvia recorrer el sistema de tuberías que conforman la red de alcantarillados, desde el punto de entrada hasta el punto de análisis o salida de la cuenca. Por supuesto, este tiempo es función de la velocidad media del flujo en cada tramo, así como de la longitud de cada uno de ellos. Este se calcula con la siguiente formula:


$$Tt = \frac{L}{60 \times V}$$

Donde:

Tt= Tiempo de recorrido (min).

L= Longitud de la tubería o tramo de red (m).

V= Velocidad media del flujo (m/s).

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

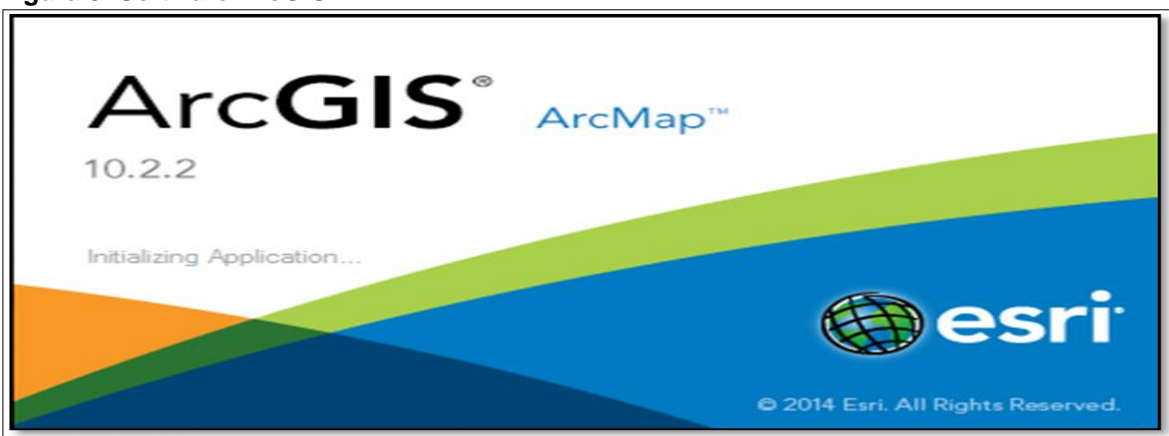
4.3.4 Herramientas Computacionales.

Para el desarrollo de la evaluación del proyecto se manejarán dos herramientas computacionales adicionales a las de uso común, estas son el programa ArcGIS y el programa Bentley SewerGems V8i.

4.3.4.1 ArcGIS.

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

Figura 9. Software ArcGIS.



Fuente: Elaboración Propia.

Esta plataforma incluye las herramientas ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe. Dentro de ArcMap que es la herramienta más importante en el desarrollo de las actividades de aplicación del proyecto se encuentran las extensiones 3D Analyst, Geostatistical Analyst, Maplex, Network Analyst, Schematics, Spatial Analyst, Tracking Analyst y ArcScan, las cuales permiten realizar operaciones complejas de una manera rápida y controlada.

4.3.4.2 SewerGems V8i.

SewerGems es un programa que simplifica el proceso de modelado para que tenga más tiempo para solucionar problemas de ingeniería de aguas residuales, tales como mejorar la capacidad y limitar los desbordamientos de las alcantarillas, los cuales permiten a los servicios públicos cumplir con la normativa establecida por las autoridades reguladoras¹⁹.

¹⁹ BENTLEY. Productos [en línea]. [Consultado: 30 de marzo de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems/>


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>PROYECTO DE GRADO</p> <p>PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA</p>	<p>FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1</p>
--	---	---


Figura 10. Software Bentley SewerGems.



Fuente: Elaboración propia.

Durante más de tres décadas, SewerGEMS ha proporcionado a los profesionales de los servicios públicos y aguas residuales herramientas de ingeniería avanzada para planificar, diseñar, mantener y operar sistemas de alcantarillado combinado y sanitario, incluyendo:

- **Herramientas para la toma de decisiones de ingeniería:** aproveche las herramientas de gestión de escenarios hipotéticos de SewerGEMS para entender mejor el comportamiento de su sistema de aguas residuales, mejorando la toma de decisiones y el tiempo de respuesta.
- **Mejora de la precisión del modelo:** un modelo bien calibrado reduce los riesgos de tomar decisiones equivocadas, garantizando que el modelo utilice los mejores datos disponibles. Las herramientas de calibración de SewerGEMS, por ejemplo, la integración de SCADA, le permite confiar en los resultados de su modelo.
- **Aumento de la movilidad de la información:** la interoperabilidad total de SewerGEMS con GIS, CAD y SCADA permite el intercambio rentable y el flujo de información entre los departamentos de diseño, ingeniería, GIS y operaciones del servicio público y sus asesores. Puede aprovechar los datos introducidos por los servicios públicos y reutilizarlos entre departamentos.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

5 METODOLOGÍA

Fase 1. Reconocimiento general del proyecto

Durante esta fase se realizará todo el acercamiento con la empresa prestadora del servicio de alcantarillado del municipio, con el fin de obtener toda la información necesaria para el desarrollo del trabajo de modelación.

Fase 1.1. Se realizará un recorrido del sistema de alcantarillado registrando algunos elementos significativos como lo son las descargas, canales, cajas entre otros, con el fin de tener una primera perspectiva del sistema.

Fase 1.2. Se procurará buscar información cartográfica dentro del municipio y/o empresa de Servicios públicos en cuestión; que sea verídica, con el fin de establecer una primera perspectiva de los componentes topográficos, locativos y específicos propios de la zona que comprende el sistema de alcantarillado.

Fase 1.3. Durante el recorrido se identificarán si los componentes FÍSICOS mencionados en el Título D del RAS 2000 son de fácil acceso y visualización para una posible inspección en caso que sea necesario.

Fase 2. Planteamiento y organización del trabajo en campo


Una vez obtenida la información correspondiente del sistema es necesario evaluar si esta es necesaria para realizar de manera adecuada la modelación hidráulica del comportamiento hidráulico de la tubería, si no es así, se debe realizar la planeación de la toma de datos faltantes, seleccionando los equipos necesarios para esta actividad, así como los procedimientos tanto hidráulicos como de seguridad a la hora de realizar esta labor.

Fase 3. Trabajo en campo.

De ser necesaria realizar esta fase, el trabajo requerido será el levantamiento a detalle de los pozos de inspección realizando el catastro de todas las tuberías que hacen parte del sistema, generando un formato para la toma adecuada de toda la información faltante necesaria para realizar la modelación hidráulica de la red.

Fase 4. Procesamiento información recolectada en campo.

Una vez finalizado las fases 1 y 3 correspondiente a toda la recolección de información se dará paso al procesamiento y organización de todos los datos obtenidos con el fin de establecer la geometría actual del sistema de alcantarillado y poder realizar un análisis preliminar de las características físicas del sistema y del cumplimiento de la normativa actual.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Fase 5. Caracterización y análisis técnico del sistema.

A partir del análisis de información obtenido, se debe proceder a realizar la caracterización del sistema de alcantarillado, realizando todos los cálculos técnicos que se requieren para analizar este tipo de sistema, como lo es la precipitación máxima, el periodo de retorno, la selección del método de cálculo del caudal máximo, el tiempo de concentración en cada una de las tuberías, entre muchos otros parámetros que se deben tener en cuenta para por medio de software poder realizar la modelación del alcantarillado pluvial del municipio y realizar un diagnóstico técnico de los resultados obtenidos.

Fase 6. Evaluación de alternativas para el manejo de agua lluvia.

Después de realizada la evaluación técnica del sistema y en base a los resultados obtenidos en esta fase se busca generar alternativas óptimas para el manejo de aguas lluvias estimado para el municipio para el periodo de retorno seleccionado.

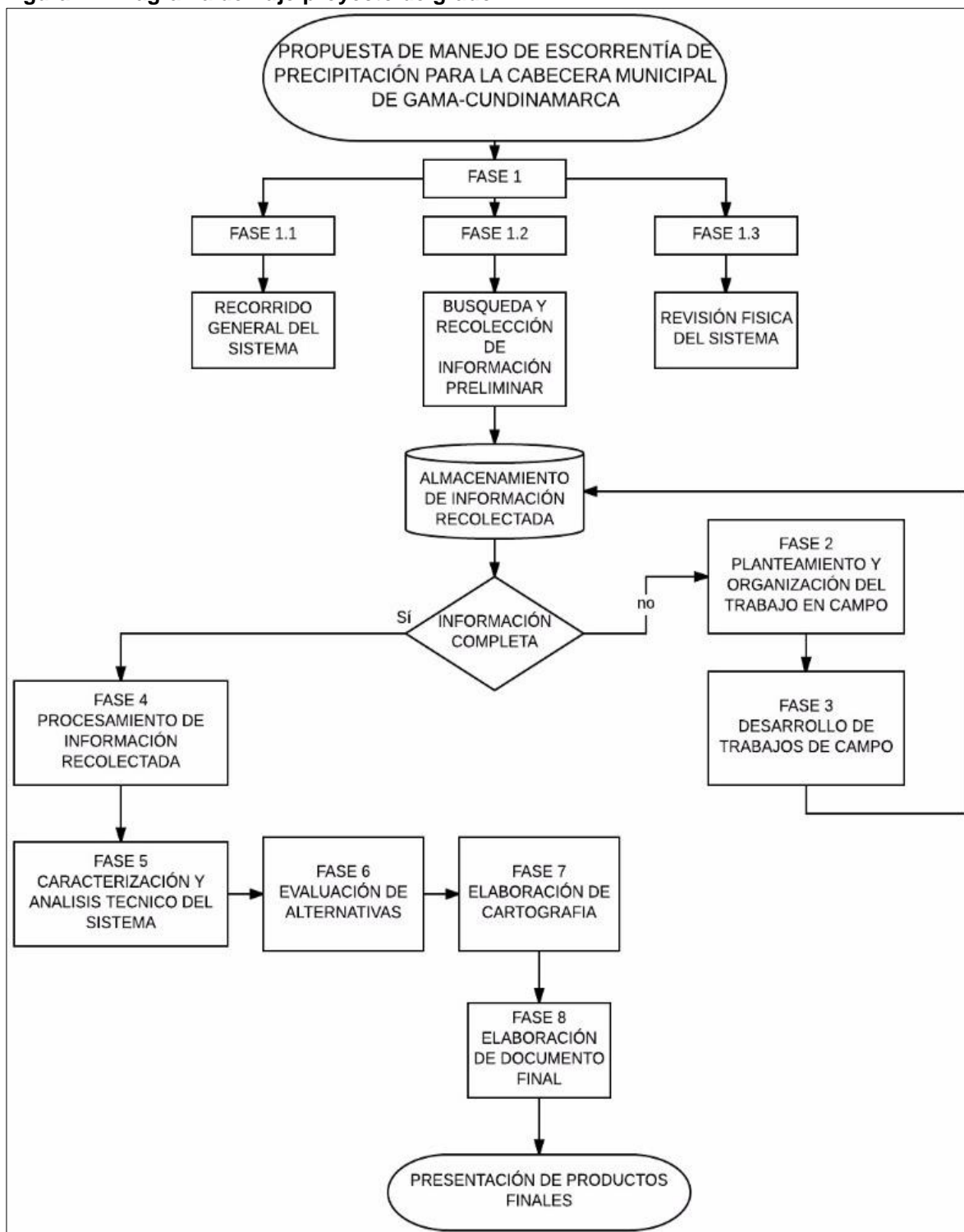
Fase 7. Elaboración de cartografía.

En esta fase se estima realizar la cartografía que caracterice física e hidráulicamente el sistema de alcantarillado actual y la alternativa de solución seleccionada como propuesta para el manejo de las aguas lluvias del municipio.

Fase 8. Preparación del documento final.

La fase final comprende la elaboración del documento final del proyecto, así como de todos los documentos de divulgación del proyecto.

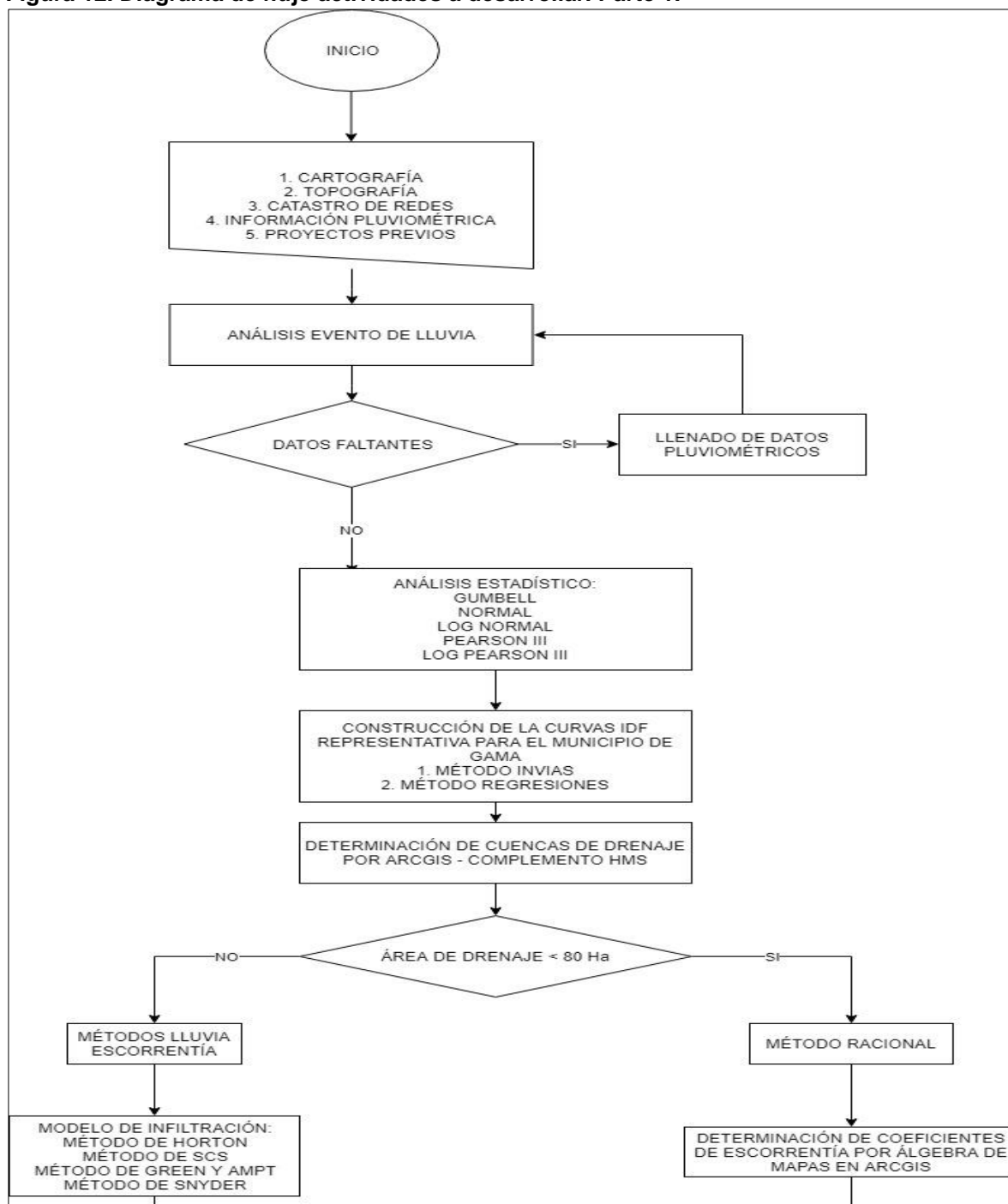
Figura 11. Diagrama de flujo proyecto de grado.



Fuente: Elaboración propia.

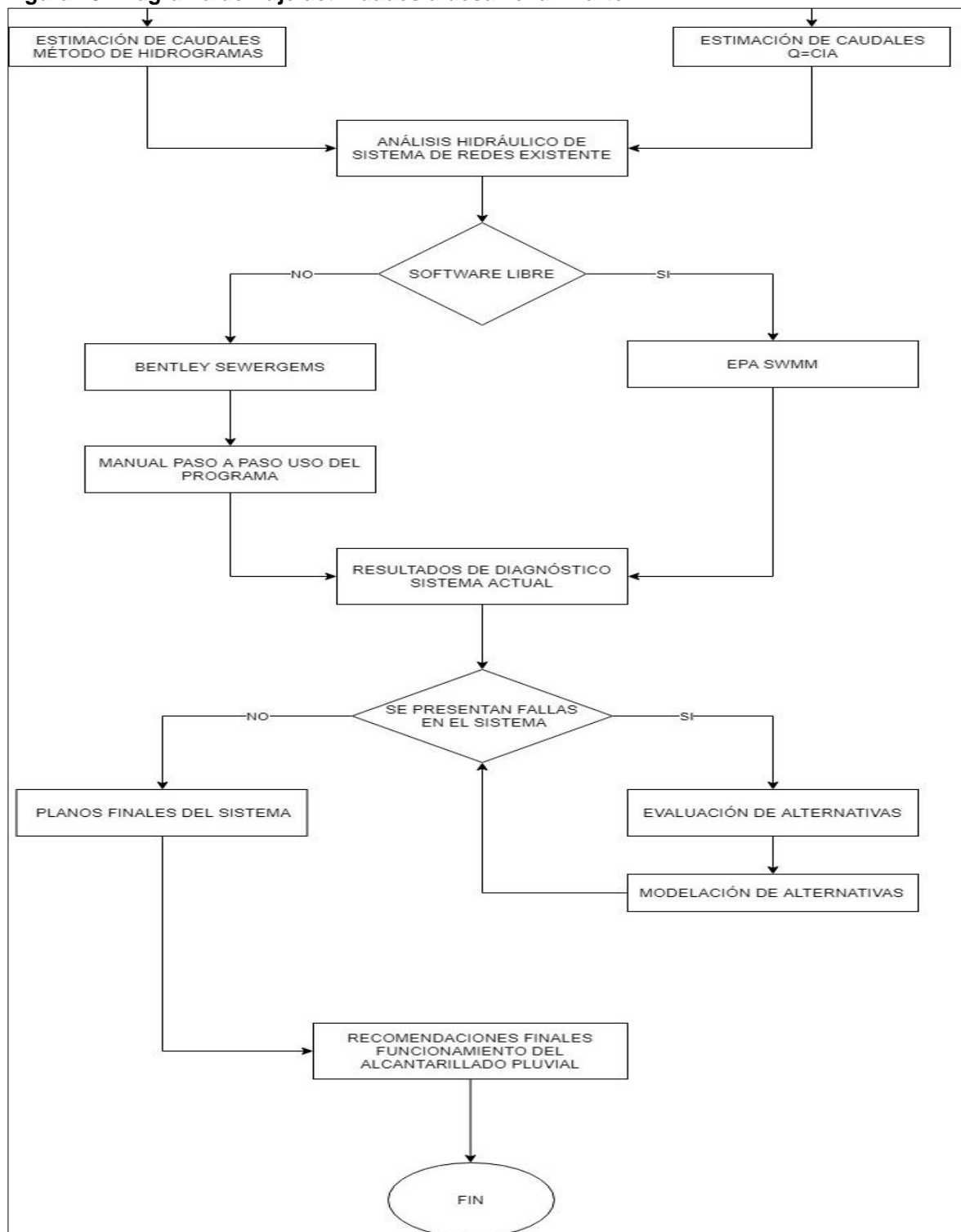
De igual manera para el desarrollo se planteó un nuevo diagrama de flujo enfocado a cada uno de los puntos a desarrollar dentro de la fase 5 y 6 del anterior esquema.

Figura 12. Diagrama de flujo actividades a desarrollar. Parte 1.




Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Diagrama de flujo actividades a desarrollar. Parte 2.



Fuente: Elaboración propia.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

6 DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se describirán los resultados de cada uno de los procesos necesarios para el desarrollo de los alcances del proyecto.

6.1 Análisis de lluvia.

El municipio de Gama cuenta con una estación pluviográfica dentro del casco urbano, con la cual se desarrollarán todos los cálculos para la obtención de los eventos de lluvia a utilizar en el análisis hidráulico.

Se realizó la solicitud de los datos registrados en el IDEAM para una precipitación máxima en 24 horas, a nivel mensual multi anual, con el fin de tener una cantidad de datos considerables y poder predecir de la manera más apropiada cada uno de los periodos de retorno necesarios. En la siguiente tabla se muestran los datos de esta estación:

Tabla 6. Datos estación Gama.

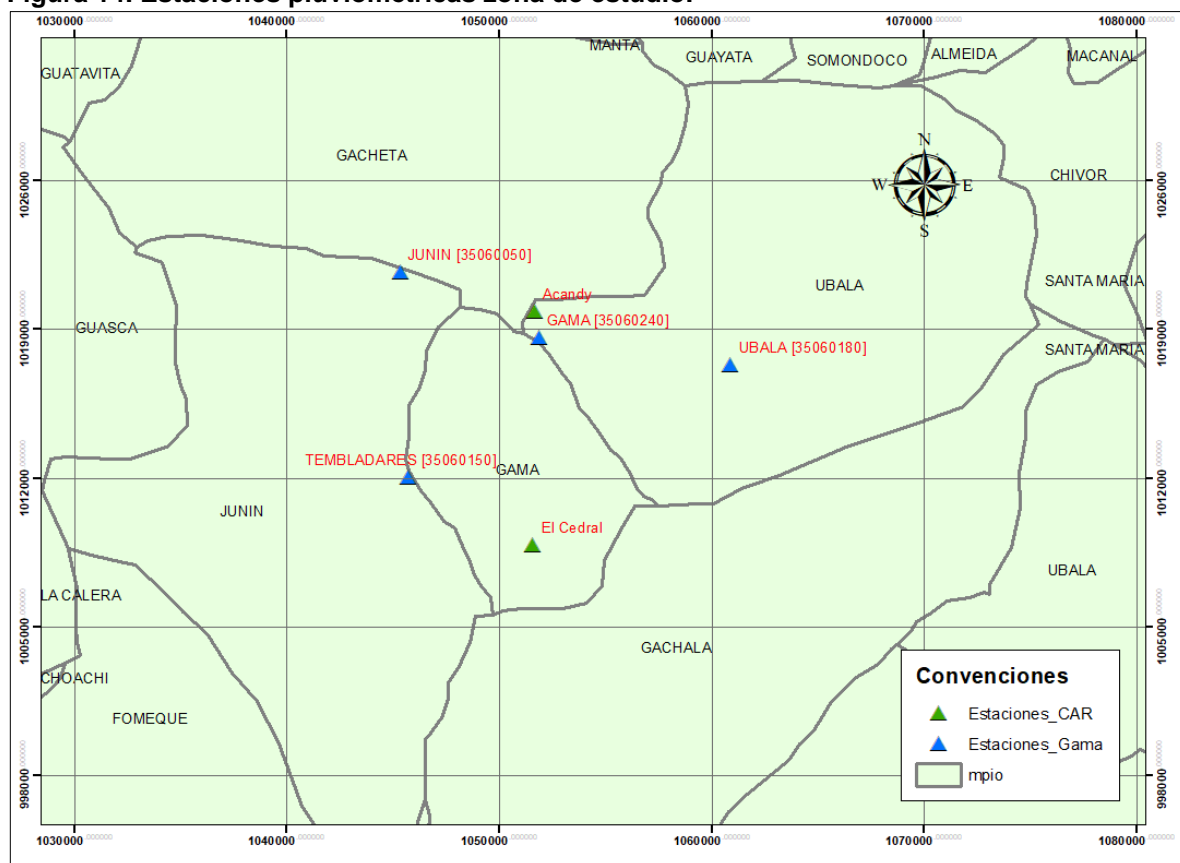
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1972									22.00	22.00	19.00	6.00
1973	15.00	0.00	9.00	16.00	58.00	33.00	35.00	40.00	20.00	20.00	33.00	5.00
1974	12.00	18.00	30.00	31.00	29.00	20.00	50.00	60.00	22.00	15.00	20.00	10.00
1975	12.00	20.00	35.00	25.00	35.00	60.00	15.00	30.00	19.00	25.00	40.00	10.00
1976	10.00	10.00	21.00	27.00	34.00	30.00	30.00	35.00	20.00	20.00	20.00	10.00
1977	0.00	35.00	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00	30.00	21.00	25.00	20.00	50.00
1978	17.00	10.00	15.00	37.00	27.00	50.00	30.00	30.00	35.00	40.00	8.00	10.00
1979	10.00	9.00	20.00	42.00	20.00	35.00	30.00	40.00	29.00	45.00	49.00	20.00
1980	10.00	10.00	20.00	41.00	30.00	40.00	30.00	40.00	20.00	20.00	5.00	5.00
1981	0.00	15.00	10.00	20.00	30.00	30.00	50.00	30.00	50.00	30.00	20.00	10.00
1982	10.00	10.00	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00	40.00	30.00	40.00	12.00	5.00
1983	48.00	30.00	20.00	40.00	20.00	35.00	44.00	30.00	40.00	30.00	10.00	20.00
1984	8.00	20.00	30.00	30.00	23.00	50.00	20.00	25.00	17.00	14.00	10.00	8.00
1985	10.00	0.00	12.00	20.00	30.00	20.00	24.00	50.00	6.00	25.00	14.00	22.00
1986	10.00	32.00	30.00	21.00	82.00	41.00	65.00	33.00	20.00	20.00	25.00	10.00
1987	2.00	40.00	20.00	30.00	11.00	24.00	22.00	30.00	20.00	30.00	20.00	10.00
1988	10.00	30.00	28.00	22.00	30.00	35.00	30.00	20.00	15.00	40.00	23.00	7.00
1989	35.00	12.00	5.00	3.90	34.00	45.00	45.00	19.00	3.00	3.00	2.00	10.00
1990	15.00	7.00	25.00	35.00	15.00	30.00	10.00	25.00	21.00	25.00	10.00	10.00
1991	0.00	12.00	19.00	70.00	11.00	25.00	35.00	30.00	11.00	41.00	15.00	10.00
1992	15.00	5.00	2.00	45.00	20.00	50.00	25.00	61.00	60.00	21.00		
1993					35.00	21.00	30.00	84.00	25.00	21.00	20.00	35.00
1994	46.00	70.00	27.00	30.00	35.00	40.00	36.00	28.00	19.00	42.00	35.00	21.00
1995	15.00	3.00	23.00	25.00	15.00	33.00	20.00	20.00	23.00	20.00	15.00	10.00
1996	5.00	39.00	20.00		25.00	20.00	26.00	31.00	16.00	21.00	30.00	54.00
1997	27.00	15.00	27.00	20.00	20.00	23.00	86.00	35.00	11.00	21.00	12.00	0.00
1998	5.00	10.00	22.00	30.00	30.00	25.00	19.00	21.00	11.00	55.00	41.00	45.00
1999	15.00	12.00	22.00	33.00	23.00	25.00	14.00	30.00	15.00	25.00	15.00	15.00
2000	10.00	10.00	20.00	20.00	33.00	20.00	23.00	25.00	15.00	18.00	28.00	60.00
2001	15.00	12.00	20.00	18.00	30.00	30.00	20.00	21.00	20.00	23.00	21.00	15.00
2002	2.00	4.00	30.00	38.00	21.00	26.00	75.00	25.00	23.00	22.00		
2004				15.00	25.00	25.00	15.00	31.00	23.00	25.00	25.00	8.00
2005	12.00	15.00	55.00	25.00	33.00	21.00	20.00	18.00		20.00	65.00	7.00
2006	10.00	6.00	20.00	25.00	3.30	2.30	2.70	2.10	1.50	1.50	2.20	1.00
2007	0.30	13.00	23.40	45.40	24.10	40.20	16.00	25.60	16.00	18.90		5.50
2008	8.00	10.00	14.00	35.00	20.00	45.00	60.00	20.90	20.30	17.00	30.50	3.60
2009	15.00	25.30	17.30	17.60	20.50	29.70	18.00	23.60	12.80	27.60	10.30	10.00

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
2010	1.50	33.50	10.60	22.00	41.10	31.30	26.20	20.50	15.30		13.50	
2011	12.50	10.80	8.00	22.00	39.00	31.30	22.60					
2013						20.40		16.90	12.90	16.10	43.90	
2014	3.40	20.90	9.00	29.40	31.90	45.90	24.70	20.70	26.30	15.00	29.00	20.30
2015	28.20	6.50	10.90	35.80	32.50	31.50	46.30	25.30	30.10	11.60	21.00	11.00
2016		12.00	19.50	25.50	54.70	14.70	31.30	46.50	22.50	15.00	49.70	16.50
2017	14.30	21.00	52.80	19.20	30.00	34.90	15.30					


Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Como se puede apreciar, existen varios datos que no cuentan con los valores de precipitación, por esta razón es necesario realizar un llenado de datos para obtener la menor dispersión posible, antes de llenar los datos faltantes, se decidió eliminar las series de datos que tuvieran más de 5 espacios en blanco. Para realizar esto se seleccionaron 5 estaciones cercanas a la estación gama, y se optó por trabajar con las 3 estaciones que mejor consistencia de datos presentaban y que espacialmente estaban más próximas. En la siguiente figura se muestran las estaciones seleccionadas para el llenado de datos.

Figura 14. Estaciones pluviométricas zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Las 3 estaciones seleccionadas para el estudio son las estaciones del IDEAM tembladares y Ubala y la estación Acandy de la jurisdicción CAR, en la siguiente tabla se muestran la serie de datos de la estación Gama con los datos completados, y en el Anexo B se encontrarán todos los cálculos realizados para cada uno de los datos faltantes.

Tabla 7. Datos completos estación Gama.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1973	15.0	0.0	9.0	16.0	58.0	33.0	35.0	40.0	20.0	20.0	33.0	5.0
1974	12.0	18.0	30.0	31.0	29.0	20.0	50.0	60.0	22.0	15.0	20.0	10.0
1975	12.0	20.0	35.0	25.0	35.0	60.0	15.0	30.0	19.0	25.0	40.0	10.0
1976	10.0	10.0	21.0	27.0	34.0	30.0	30.0	35.0	20.0	20.0	20.0	10.0
1977	0.0	35.0	20.0	20.0	20.0	20.0	40.0	30.0	21.0	25.0	20.0	50.0
1978	17.0	10.0	15.0	37.0	27.0	50.0	30.0	30.0	35.0	40.0	8.0	10.0
1979	10.0	9.0	20.0	42.0	20.0	35.0	30.0	40.0	29.0	45.0	49.0	20.0
1980	10.0	10.0	20.0	41.0	30.0	40.0	30.0	40.0	20.0	20.0	5.0	5.0
1981	0.0	15.0	10.0	20.0	30.0	30.0	50.0	30.0	50.0	30.0	20.0	10.0
1982	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	40.0	40.0	30.0	40.0	12.0	5.0
1983	48.0	30.0	20.0	40.0	20.0	35.0	44.0	30.0	40.0	30.0	10.0	20.0
1984	8.0	20.0	30.0	30.0	23.0	50.0	20.0	25.0	17.0	14.0	10.0	8.0
1985	10.0	0.0	12.0	20.0	30.0	20.0	24.0	50.0	6.0	25.0	14.0	22.0
1986	10.0	32.0	30.0	21.0	82.0	41.0	65.0	33.0	20.0	20.0	25.0	10.0
1987	2.0	40.0	20.0	30.0	11.0	24.0	22.0	30.0	20.0	30.0	20.0	10.0
1988	10.0	30.0	28.0	22.0	30.0	35.0	30.0	20.0	15.0	40.0	23.0	7.0
1989	35.0	12.0	5.0	3.9	34.0	45.0	45.0	19.0	3.0	3.0	2.0	10.0
1990	15.0	7.0	25.0	35.0	15.0	30.0	10.0	25.0	21.0	25.0	10.0	10.0
1991	0.0	12.0	19.0	70.0	11.0	25.0	35.0	30.0	11.0	41.0	15.0	10.0
1992	15.0	5.0	2.0	45.0	20.0	50.0	25.0	61.0	60.0	21.0	21.4	12.8
1993	10.4	9.9	28.4	25.8	35.0	21.0	30.0	84.0	25.0	21.0	20.0	35.0
1994	46.0	70.0	27.0	30.0	35.0	40.0	36.0	28.0	19.0	42.0	35.0	21.0
1995	15.0	3.0	23.0	25.0	15.0	33.0	20.0	20.0	23.0	20.0	15.0	10.0
1996	5.0	39.0	20.0	24.5	25.0	20.0	26.0	31.0	16.0	21.0	30.0	54.0
1997	27.0	15.0	27.0	20.0	20.0	23.0	86.0	35.0	11.0	21.0	12.0	0.0
1998	5.0	10.0	22.0	30.0	30.0	25.0	19.0	21.0	11.0	55.0	41.0	45.0
1999	15.0	12.0	22.0	33.0	23.0	25.0	14.0	30.0	15.0	25.0	15.0	15.0
2000	10.0	10.0	20.0	20.0	33.0	20.0	23.0	25.0	15.0	18.0	28.0	60.0
2001	15.0	12.0	20.0	18.0	30.0	30.0	20.0	21.0	20.0	23.0	21.0	15.0
2002	2.0	4.0	30.0	38.0	21.0	26.0	75.0	25.0	23.0	22.0	11.3	10.5
2004	38.8	27.9	31.4	15.0	25.0	25.0	15.0	31.0	23.0	25.0	25.0	8.0
2005	12.0	15.0	55.0	25.0	33.0	21.0	20.0	18.0	16.7	20.0	65.0	7.0
2006	10.0	6.0	20.0	25.0	3.3	2.3	2.7	2.1	1.5	1.5	2.2	1.0
2007	0.3	13.0	23.4	45.4	24.1	40.2	16.0	25.6	16.0	18.9	12.6	5.5
2008	8.0	10.0	14.0	35.0	20.0	45.0	60.0	20.9	20.3	17.0	30.5	3.6
2009	15.0	25.3	17.3	17.6	20.5	29.7	18.0	23.6	12.8	27.6	10.3	10.0
2010	1.5	33.5	10.6	22.0	41.1	31.3	26.2	20.5	15.3	20.6	13.5	18.2
2011	12.5	10.8	8.0	22.0	39.0	31.3	22.6	42.4	11.9	28.4	13.7	20.3
2014	3.4	20.9	9.0	29.4	31.9	45.9	24.7	20.7	26.3	15.0	29.0	20.3
2015	28.2	6.5	10.9	35.8	32.5	31.5	46.3	25.3	30.1	11.6	21.0	11.0
2016	5.8	12.0	19.5	25.5	54.7	14.7	31.3	46.5	22.5	15.0	49.7	16.5

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Para esta serie de datos se deben seleccionar lo valores máximo anuales a nivel multianual, ya que los ajustes estadísticos se realizan principalmente con estos datos, en la siguiente tabla se muestran los valores máximos seleccionados y el logaritmo en base 10 de los mismos.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Tabla 8. Valores máximos anuales a nivel multianual.

AÑO	MÁXIMOS	
1973	58.00	1.76
1974	60.00	1.78
1975	60.00	1.78
1976	35.00	1.54
1977	50.00	1.70
1978	50.00	1.70
1979	49.00	1.69
1980	41.00	1.61
1981	50.00	1.70
1982	40.00	1.60
1983	48.00	1.68
1984	50.00	1.70
1985	50.00	1.70
1986	82.00	1.91
1987	40.00	1.60
1988	40.00	1.60
1989	45.00	1.65
1990	35.00	1.54
1991	70.00	1.85
1992	61.00	1.79
1993	84.00	1.92
1994	70.00	1.85
1995	33.00	1.52
1996	54.00	1.73
1997	86.00	1.93
1998	55.00	1.74
1999	33.00	1.52
2000	60.00	1.78
2001	30.00	1.48
2002	75.00	1.88
2004	38.75	1.59
2005	65.00	1.81
2006	25.00	1.40
2007	45.40	1.66
2008	60.00	1.78
2009	29.70	1.47
2010	41.10	1.61
2011	42.44	1.63
2014	45.90	1.66
2015	46.30	1.67
2016	54.70	1.74
MAX	86.00	1.93

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Para realizar el ajuste probabilístico a las diferentes distribuciones descritas en el capítulo de análisis estadístico, se requiere obtener algunos parámetros probabilísticos, en la siguiente tabla se relacionan los valores obtenidos.


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Tabla 9. Parámetros Probabilísticos.

Parámetro	Valor	Unidad
Promedio	50.93	mm
Desviación estándar	14.94	mm
n	41.00	
α	11.65	mm
β	44.21	mm
Coefficiente de asimetría	0.63	
Promedio Log	1.69	mm
Desviación estándar Log	0.13	mm
Coefficiente de asimetría Log	-0.06	

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Los datos fueron ajustados a las distribuciones Gumbel, Normal, Log Normal y Pearson Tipo III y se seleccionó el mejor ajuste con base en la prueba de Smirnov – Kolmogorov para una confiabilidad del 5%, a continuación, se mostrarán los resultados encontrados en cada distribución.

Tabla 10. Distribución Gumbel.

GUMBEL				
Periodo Retorno T_r	Variable Reducida Y_t	Precip. (mm) XT'	Prob. de ocurrencia $F(xT)$	Corrección intervalo fijo λ
2	0.3665	48.4796	0.5000	48.4796
3	0.9027	54.7260	0.6667	54.7260
5	1.4999	61.6831	0.8000	61.6831
10	2.2504	70.4250	0.9000	70.4250
25	3.1985	81.4704	0.9600	81.4704
50	3.9019	89.6645	0.9800	89.6645
100	4.6001	97.7981	0.9900	97.7981
Smirnov - Kolmogorov				0.15

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Tabla 11. Distribución Normal.

NORMAL				
T_r	$P \geq 1/T_r$	w	Z	PTr (log)
2	0.5000	1.1774	0.000	50.9311
3	0.3333	1.4823	0.430	57.3594
5	0.2000	1.7941	0.841	63.5021
10	0.1000	2.1460	1.281	70.0797
25	0.0400	2.5373	1.751	77.0918
50	0.0200	2.7971	2.054	81.6204
100	0.0100	3.0349	2.326	85.6931
Smirnov - Kolmogorov				0.09

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Tabla 12. Distribución Log-Normal.

LOG NORMAL				
T_r	$P \geq 1/T_r$	At	Z	PTr (log)
2	0.5000	1.1774	0.000	48.8616
3	0.3333	1.4823	0.430	55.4233
5	0.2000	1.7941	0.841	62.5150
10	0.1000	2.1460	1.281	71.1180
25	0.0400	2.5373	1.751	81.5968
50	0.0200	2.7971	2.054	89.1712
100	0.0100	3.0349	2.326	96.5818
Smirnov - Kolmogorov				0.15

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

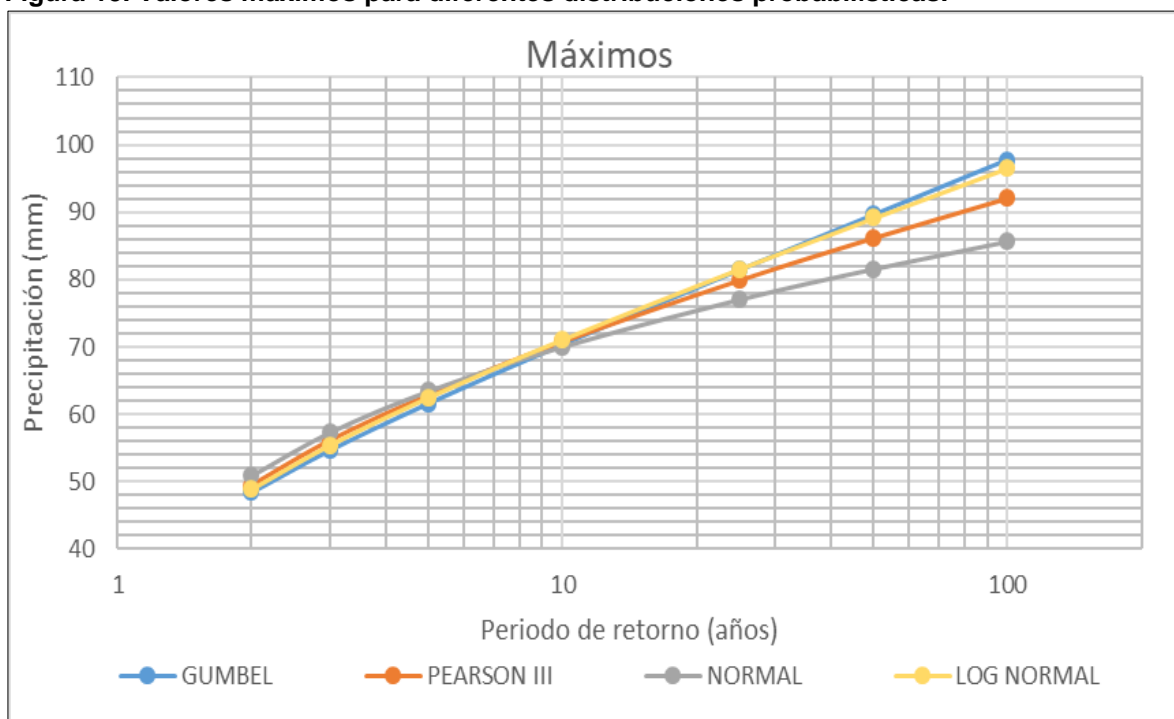
Tabla 13. Distribución Pearson tipo III.

PEARSON III				
Tr	$P \geq 1/Tr$	U_{ca}	$PT_r (log)$	
2	0.5	-0.099	49.4481	
3	0.333333333	0.348	56.1280	
5	0.2	0.800	62.8790	
10	0.1	1.329	70.7826	
25	0.04	1.939	79.9033	
50	0.02	2.359	86.1837	
100	0.01	2.755	92.0976	
Smirnov - Kolmogorov			0.13	

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.


En la siguiente figura se relacionan los valores encontrados para cada periodo de retorno en cada una de las distribuciones.

Figura 15. Valores máximos para diferentes distribuciones probabilísticas.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución Gumbel, es la que mejor se ajusta a los datos de la estación de Gama, en el Anexo B, se muestran los cálculos realizados para determinar los valores de cada uno de los ajustes. Con los valores máximos encontrados se realizará el cálculo de la curva IDF por el método descrito en el numeral 4.3.2.2 del presente informe.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

6.2 Curvas IDF.

Para determinar las curvas IDF características para el municipio de gama se tendrán en cuenta las dos metodologías descritas en el documento,

6.2.1 Método Sintético

Para utilizar este método se deben tener los datos de precipitación máxima anual a nivel multianual, los cuales se presentaron anteriormente, adicionalmente se deben calcular algunos parámetros estadísticos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14. Parámetros estadísticos método simplificado.

RESULTADOS ESTADÍSTICOS SERIE DE DATOS							
# Datos	41	Media	50.93	Desv.	14.94	Coef. Asi.	0.63

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Con estos datos, la formula generalizada para este método y los coeficientes para cada una de las zonas del país se realiza el cálculo de la curva IDF. En la siguiente tabla se muestra esta para diferentes periodos de retorno con una duración de 2 horas.

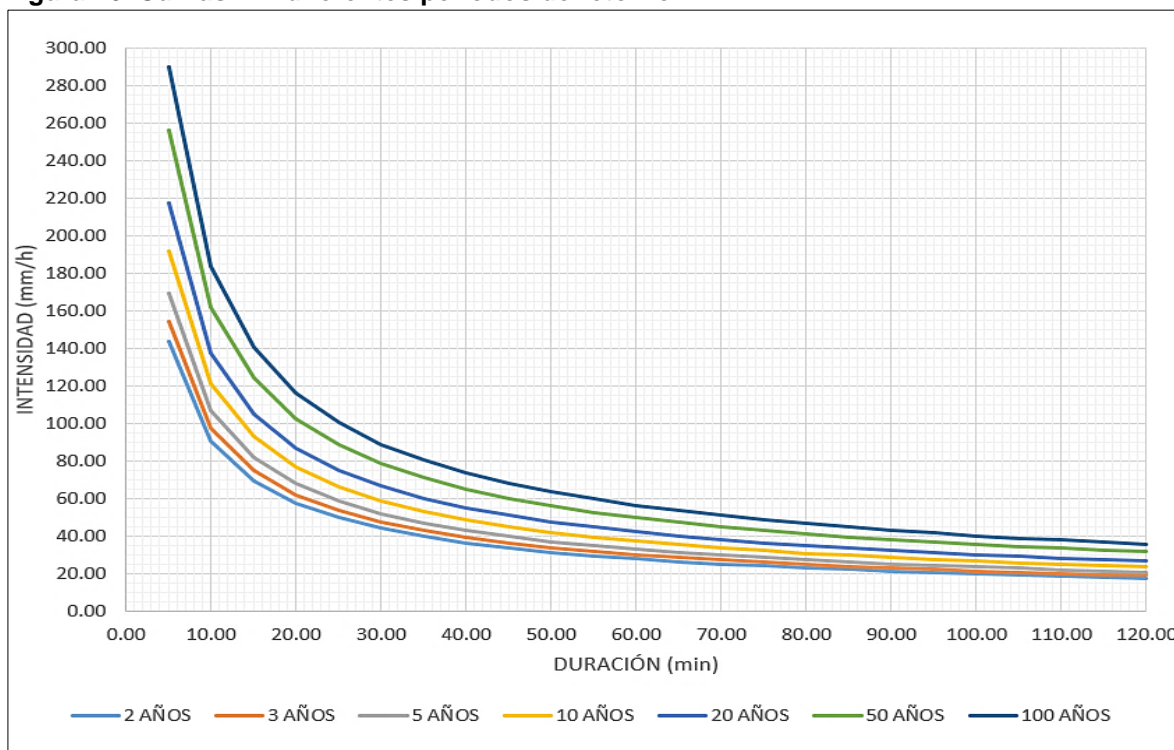
Tabla 15. Curva IDF Municipio de Gama – Zona Andina.

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (años)						
	2.00	3.00	5.00	10.00	20.00	50.00	100.00
5.00	143.35	154.20	169.05	191.52	216.96	255.87	289.87
10.00	90.72	97.59	106.99	121.21	137.31	161.93	183.45
15.00	69.42	74.68	81.87	92.75	105.07	123.91	140.38
20.00	57.42	61.76	67.71	76.71	86.90	102.48	116.10
25.00	49.55	53.30	58.44	66.20	75.00	88.45	100.20
30.00	43.93	47.26	51.81	58.70	66.50	78.42	88.84
35.00	39.68	42.69	46.80	53.02	60.07	70.84	80.25
40.00	36.34	39.09	42.85	48.55	55.00	64.86	73.48
45.00	33.62	36.16	39.65	44.92	50.88	60.01	67.98
50.00	31.36	33.74	36.98	41.90	47.47	55.98	63.42
55.00	29.45	31.68	34.73	39.34	44.57	52.57	59.55
60.00	27.81	29.91	32.79	37.15	42.09	49.63	56.23
65.00	26.37	28.37	31.10	35.24	39.92	47.08	53.33
70.00	25.12	27.02	29.62	33.56	38.01	44.83	50.79
75.00	24.00	25.81	28.30	32.06	36.32	42.83	48.53
80.00	23.00	24.74	27.12	30.72	34.81	41.05	46.50
85.00	22.09	23.77	26.06	29.52	33.44	39.44	44.68
90.00	21.28	22.89	25.09	28.43	32.20	37.98	43.03
95.00	20.53	22.09	24.21	27.43	31.08	36.65	41.52
100.00	19.85	21.35	23.41	26.52	30.04	35.43	40.14
105.00	19.22	20.67	22.66	25.68	29.09	34.30	38.86
110.00	18.64	20.05	21.98	24.90	28.21	33.27	37.69
115.00	18.10	19.47	21.34	24.18	27.39	32.31	36.60
120.00	17.60	18.93	20.75	23.51	26.63	31.41	35.58

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

En la siguiente figura se representa la tendencia de las curvas calculadas.

Figura 16. Curvas IDF diferentes periodos de retorno.



Fuente: *Elaboración propia.*

6.2.2 Cálculo de curvas IDF con datos históricos de precipitación


Para utilizar este método se deben tener los datos de precipitación máxima ajustados a una distribución estadística para conocer los datos para diferentes periodos de retorno, en el capítulo anterior, se encontró que la distribución Gumbel presenta el mejor ajuste en la prueba de Smirnov – Kolmogorov, por lo cual con los datos máximos de esa distribución se procede a calcular la idf característica para el municipio.

Se tomarán los valores de precipitación máxima, se multiplicará cada uno con los coeficientes de duración, en horas, que se presentan en la siguiente tabla. Esto generará una matriz de datos de precipitación versus probabilidad de los tiempos de duración.

Tabla 16 Coeficiente para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.

DURACIONES, EN HORAS									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Fuente: *D.F. Campos A., 1978*

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Con esta matriz se calculará las intensidades de lluvia según la siguiente ecuación. Es decir, que la precipitación diaria, en milímetros, y el tiempo de duración, en horas, se calculará una nueva matriz con las intensidades de lluvia en el área de estudio.

$$I = \frac{P[mm]}{t_{duración}[hr]}$$

La ecuación general de las curvas de intensidad, duración y frecuencia es la siguiente. Es necesario hallar los valores de K, m y n, ya que estos son los parámetros de ajuste de cada IDF. Para esto será necesario hacer una regresión potencial, la cual se encuentra desarrollada en el Anexo B del presente informe.

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad (1)$$

Donde,

I = Intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

K, m y n = Parámetros de ajuste.

La curva IDF generada por este método presenta la siguiente ecuación característica:

$$I = \frac{170.8724 * T^{0.175568}}{t^{0.61639}}$$

Con esta ecuación se determinan los valores de intensidad para cada uno de los periodos de retorno, se opta por graficar los mismos intervalos utilizados en el método del INVIAS con el fin de poder realizar una comparación entre los dos resultados y seleccionar uno de estos para realizar el análisis hidráulico correspondiente.

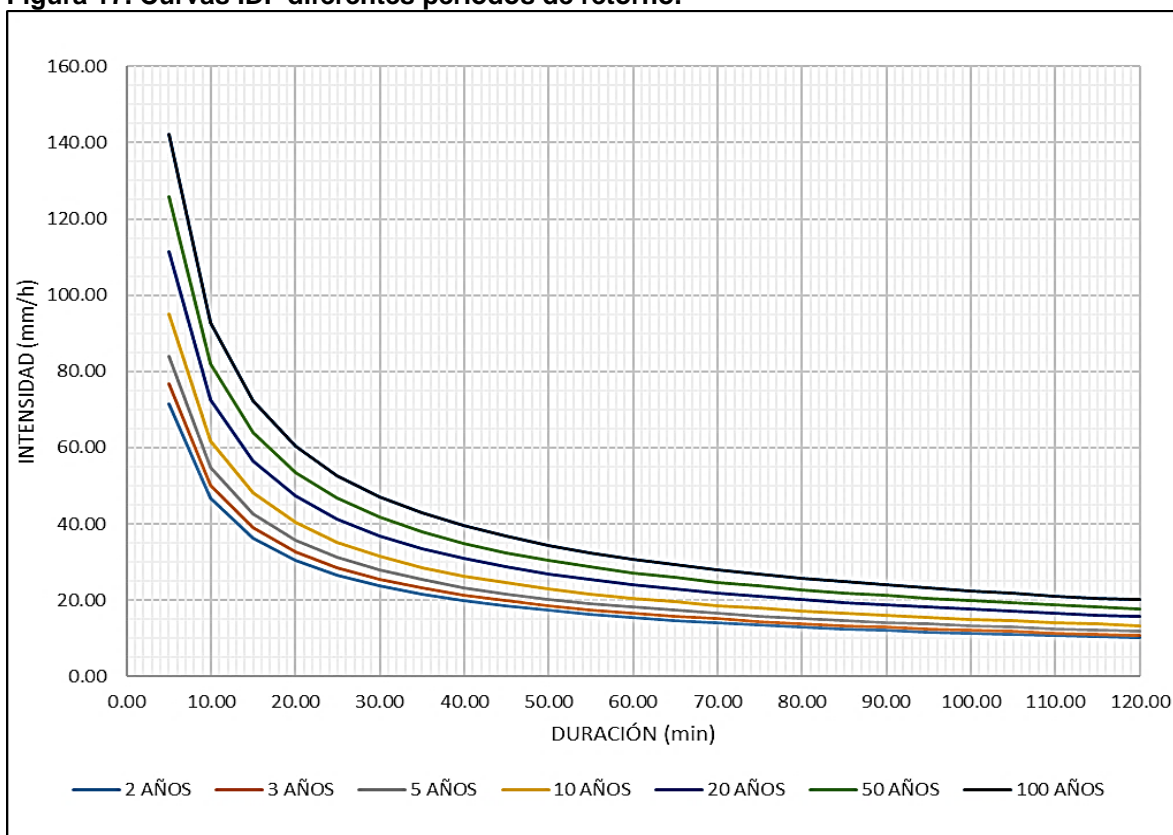
Tabla 17. Curva IDF Municipio de Gama Valores máximos.

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (años)						
	2.00	3.00	5.00	10.00	20.00	50.00	100.00
5.00	71.56	76.84	84.05	94.93	111.50	125.93	142.22
10.00	46.68	50.12	54.83	61.92	72.73	82.14	92.77
15.00	36.36	39.04	42.70	48.23	56.65	63.98	72.26
20.00	30.45	32.70	35.76	40.39	47.44	53.58	60.52
25.00	26.54	28.49	31.17	35.20	41.35	46.70	52.74
30.00	23.72	25.47	27.86	31.46	36.95	41.73	47.13
35.00	21.57	23.16	25.33	28.61	33.60	37.95	42.86
40.00	19.86	21.33	23.33	26.35	30.95	34.95	39.47
45.00	18.47	19.83	21.70	24.50	28.78	32.50	36.71
50.00	17.31	18.59	20.33	22.96	26.97	30.46	34.40
55.00	16.32	17.53	19.17	21.65	25.43	28.72	32.44
60.00	15.47	16.61	18.17	20.52	24.10	27.22	30.75

65.00	14.73	15.81	17.30	19.53	22.94	25.91	29.27
70.00	14.07	15.11	16.52	18.66	21.92	24.76	27.96
75.00	13.48	14.48	15.84	17.88	21.01	23.72	26.79
80.00	12.96	13.91	15.22	17.19	20.19	22.80	25.75
85.00	12.48	13.40	14.66	16.56	19.45	21.96	24.81
90.00	12.05	12.94	14.15	15.98	18.77	21.20	23.95
95.00	11.65	12.51	13.69	15.46	18.16	20.51	23.16
100.00	11.29	12.12	13.26	14.98	17.59	19.87	22.44
105.00	10.96	11.77	12.87	14.53	17.07	19.28	21.78
110.00	10.65	11.43	12.51	14.12	16.59	18.74	21.16
115.00	10.36	11.12	12.17	13.74	16.14	18.23	20.59
120.00	10.09	10.84	11.85	13.39	15.72	17.76	20.06

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Figura 17. Curvas IDF diferentes periodos de retorno.




Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra el comparativo entre la curva del INVIAS y la curva calculada por medio de regresiones, el cálculo realizado consiste en dividir la precipitación del método INVIAS sobre el segundo método de forma porcentual.

Tabla 18. Comparación porcentual valores de precipitación.

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (años)						
	2.00	3.00	5.00	10.00	20.00	50.00	100.00
5.00	200%	201%	201%	202%	195%	203%	204%
10.00	194%	195%	195%	196%	189%	197%	198%

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

15.00	191%	191%	192%	192%	185%	194%	194%
20.00	189%	189%	189%	190%	183%	191%	192%
25.00	187%	187%	187%	188%	181%	189%	190%
30.00	185%	186%	186%	187%	180%	188%	188%
35.00	184%	184%	185%	185%	179%	187%	187%
40.00	183%	183%	184%	184%	178%	186%	186%
45.00	182%	182%	183%	183%	177%	185%	185%
50.00	181%	181%	182%	182%	176%	184%	184%
55.00	180%	181%	181%	182%	175%	183%	184%
60.00	180%	180%	180%	181%	175%	182%	183%
65.00	179%	179%	180%	180%	174%	182%	182%
70.00	179%	179%	179%	180%	173%	181%	182%
75.00	178%	178%	179%	179%	173%	181%	181%
80.00	177%	178%	178%	179%	172%	180%	181%
85.00	177%	177%	178%	178%	172%	180%	180%
90.00	177%	177%	177%	178%	172%	179%	180%
95.00	176%	176%	177%	177%	171%	179%	179%
100.00	176%	176%	176%	177%	171%	178%	179%
105.00	175%	176%	176%	177%	170%	178%	178%
110.00	175%	175%	176%	176%	170%	178%	178%
115.00	175%	175%	175%	176%	170%	177%	178%
120.00	174%	175%	175%	176%	169%	177%	177%

Fuente: Elaboración propia, Anexo B.

Como se puede apreciar, la curva IDF del método INVIAS, genera valores de precipitación más altos hasta un 200% más que el método de las regresiones, esto debido a que el método fue desarrollado para aplicar a grandes cuencas para proyectos viales donde la envergadura de la inversión permite sobre estimar estos valores sin afectar considerablemente el valor del proyecto. Dicho esto, como el proyecto está basado en una cuenca urbana municipal, no es recomendable utilizar los valores del INVIAS, por lo cual para los cálculos hidráulicos correspondientes se utilizará el método de las regresiones.

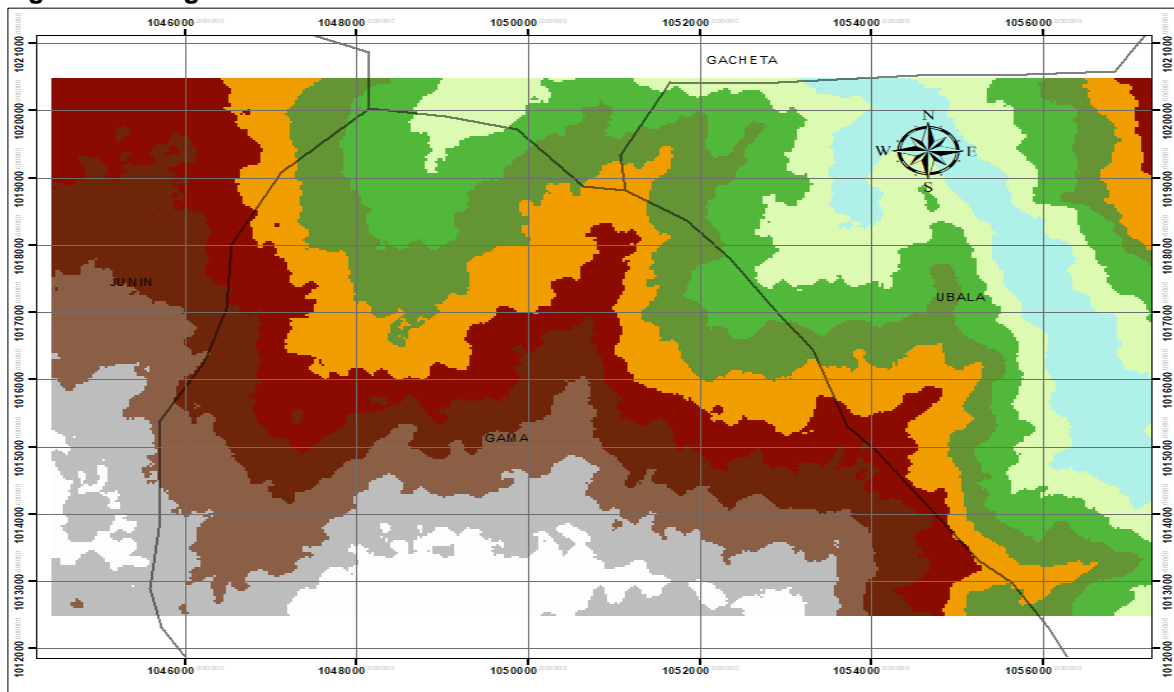
6.3 Cuencas de drenaje.

El municipio de Gama cuenta con 5 sectores de descarga actualmente, las cuales conducen la totalidad del caudal generado por la cuenca aferente al municipio.

En este punto se decidió calcular la cuenca desde dos ópticas, la primera de estas por medio de una imagen raster descargada de la plataforma de la NASA²⁰ y la segunda por medio de la digitalización de curvas (ver procedimiento en el Anexo H) a partir de una plancha del IGAC escala 1:10000 donde a partir de estas curvas también se generó un modelo raster de elevación para poder determinar la cuenca con un complemento para ArcGIS del software HEC HMS.

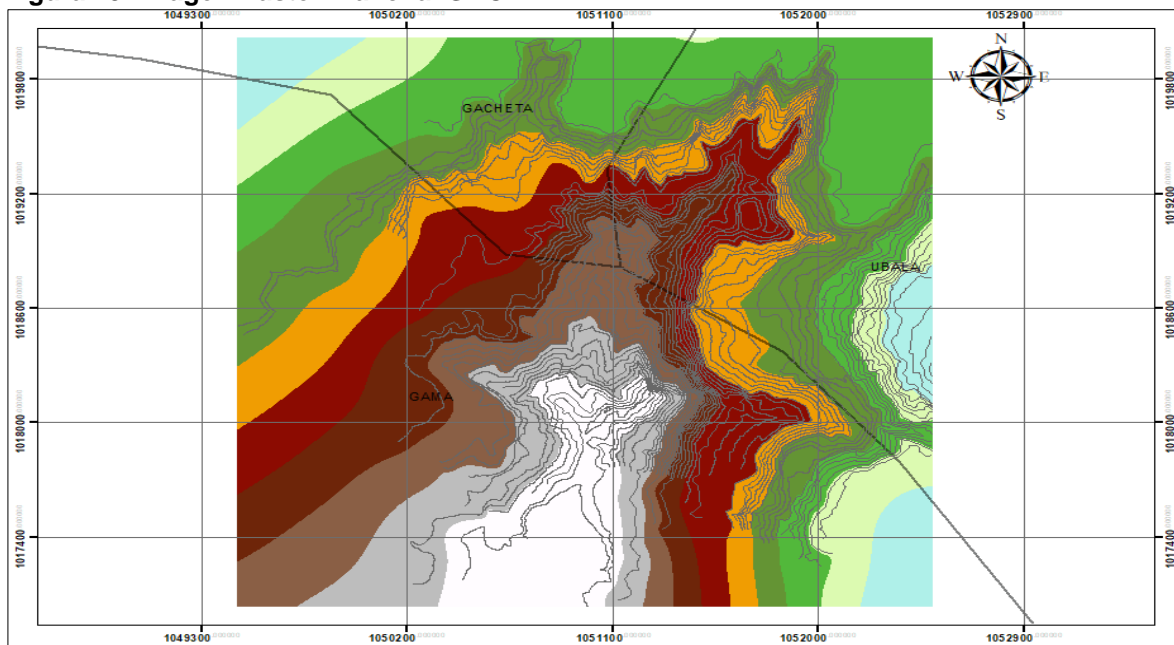
²⁰ Fuente: <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/z>

Figura 18. Imagen Ráster de la NASA



Fuente: <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>, 2018

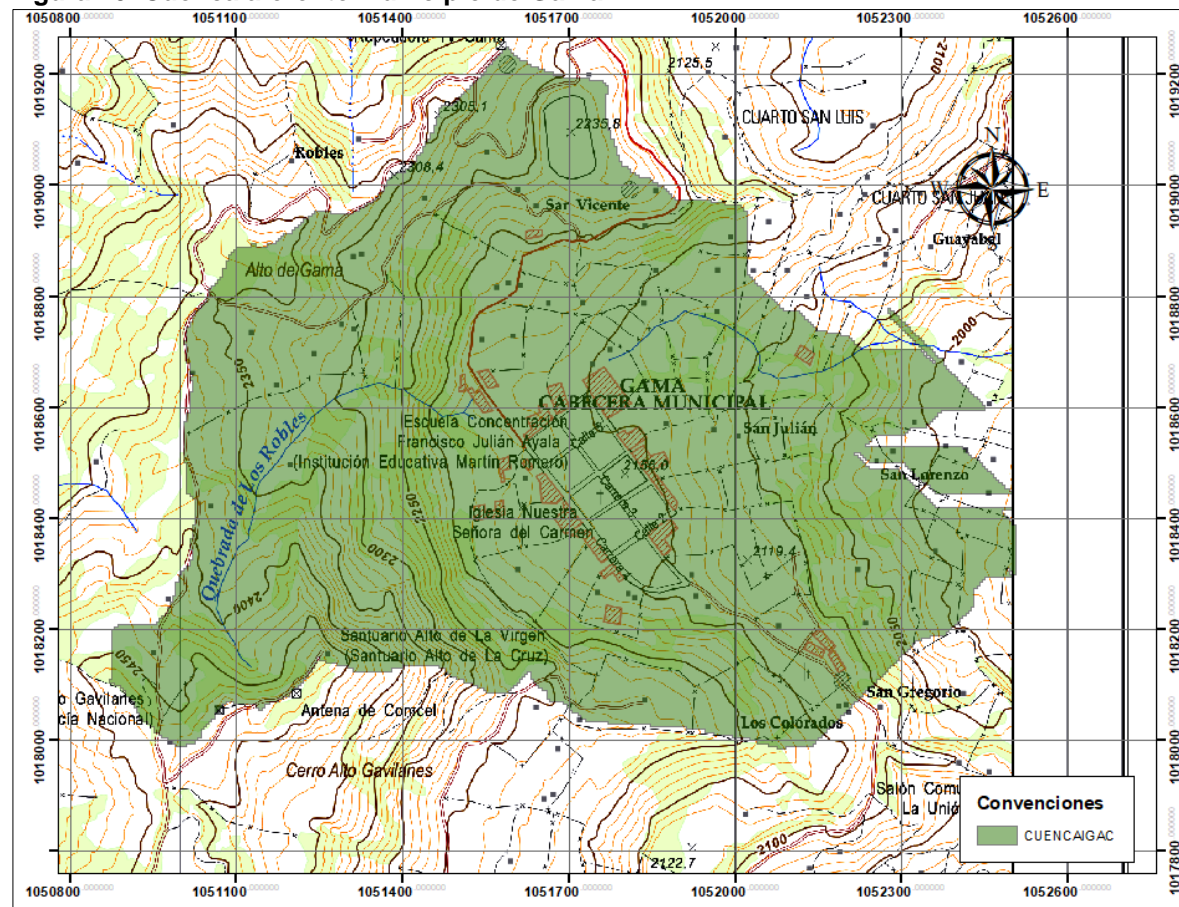
Figura 19. Imagen Ráster Plancha IGAC



Fuente: Elaboración propia.

Con base en los dos modelos y la metodología expuesta en el Anexo H del proyecto se determinó la cuenca aferente al municipio de Gama, donde se decidió utilizar la generada por las curvas del IGAC, ya que es una información que tiene cierto grado de respaldo al pertenecer a la principal entidad geográfica del país. En la siguiente ilustración se representa la cuenca aferente calculada.

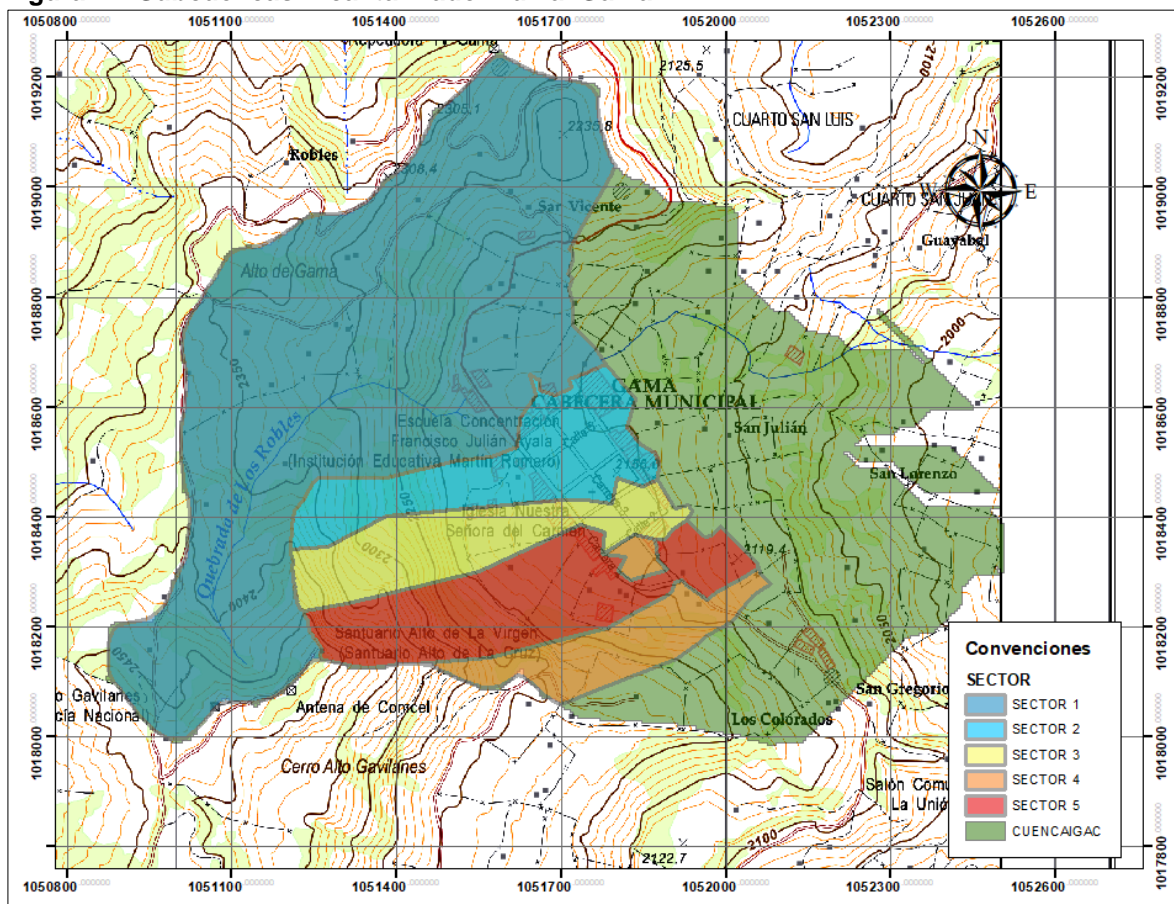
Figura 20. Cuenca aferente municipio de Gama.



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se debe dividir esta cuenca en cada una de las subcuencas de las descargas presentes en el municipio para poder evaluar el método de calculo del caudal, en la siguiente ilustración se representan cada uno de los 5 sectores mencionados anteriormente.

Figura 21. Subcuencas Alcantarillado Pluvial Gama.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura anterior, el total del área de la cuenca generada a partir de las curvas de nivel no fue tomada en cuenta debido a que no interviene directamente con la cabecera municipal de Gama, siendo este el alcance de este proyecto. En la siguiente tabla se relaciona el área de cada una de las subcuencas a evaluar, así como el método de determinación del caudal para cada una, que depende del área de drenaje, siendo para áreas menores a 80 Ha el método racional y para mayores a este valor el método de lluvia escorrentía, explicado anteriormente según la normatividad colombiana, sin embargo en otra literatura se puede encontrar que este método es aplicable a cuencas a áreas menores de 1300 Ha²¹.

²¹ LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2 ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2003. p. 430.

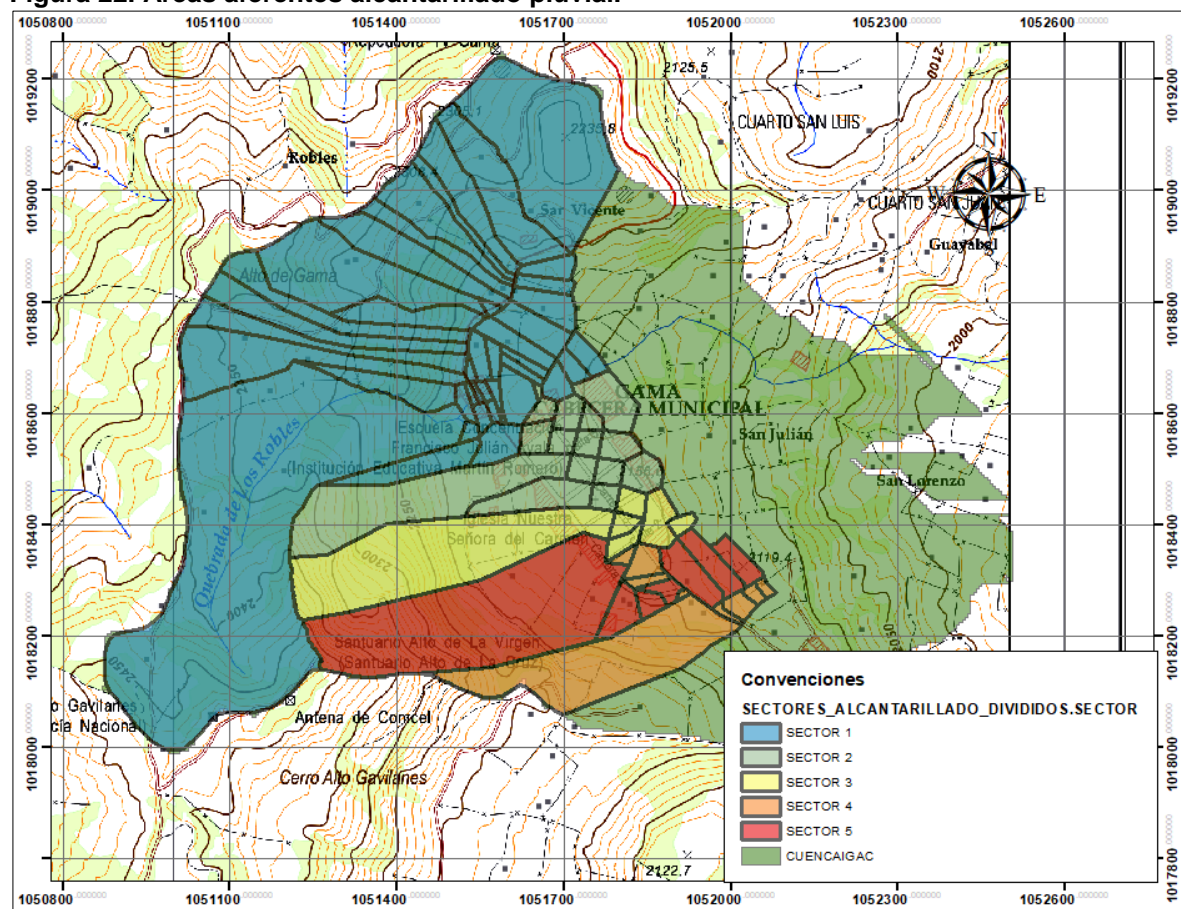
Tabla 19. Resumen área por sector.

SECTOR	ÁREA (Ha)	MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE CAUDAL
1	50.536	MÉTODO RACIONAL
2	8.355	MÉTODO RACIONAL
3	5.418	MÉTODO RACIONAL
4	7.254	MÉTODO RACIONAL
5	10.558	MÉTODO RACIONAL

Fuente: Elaboración propia.

Para poder realizar el análisis hidráulico correspondiente al sistema de tuberías de alcantarillado pluvial es necesario tener el área de cada uno de los sectores la división de área entre el número de tramos correspondiente, en la siguiente ilustración se muestran las áreas divididas para cada sector.

Figura 22. Áreas aferentes alcantarillado pluvial.



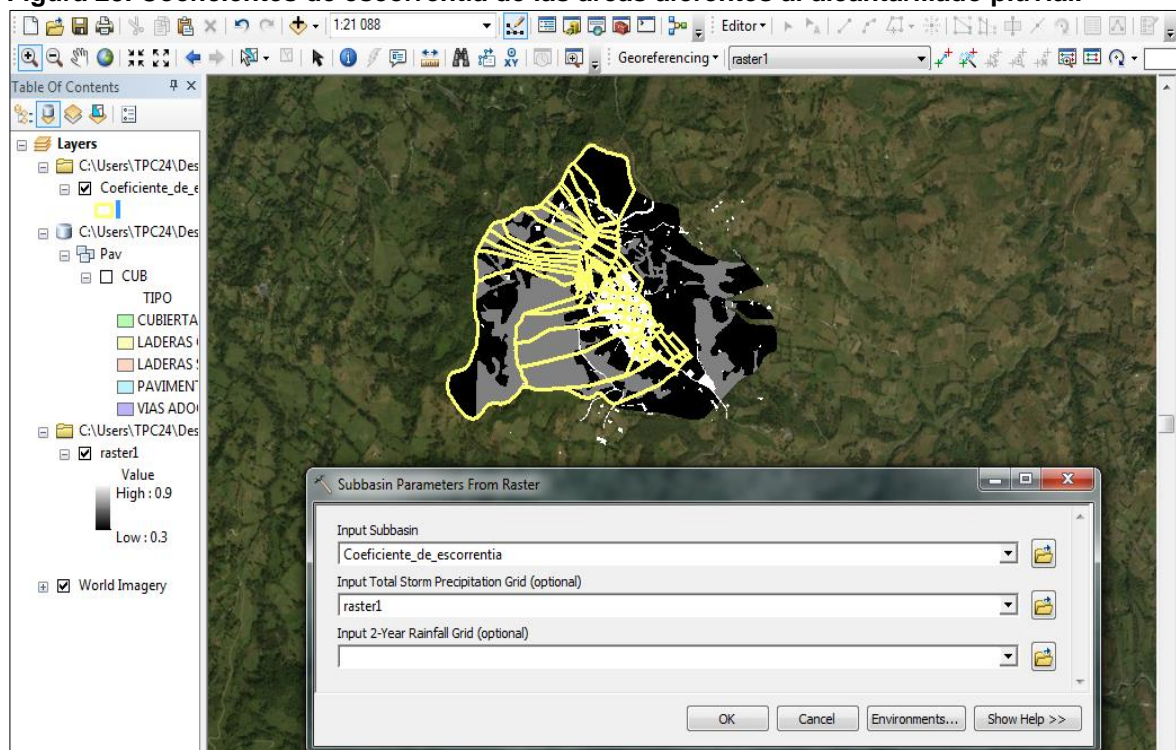
Fuente: Elaboración propia.

6.4 Coeficientes de escorrentía.


Como el método de estimación del caudal de aguas lluvias seleccionado es el racional, este comprende la estimación de un coeficiente de escorrentía que depende del tipo de suelo y que determina la porción del caudal que se convierte en escorrentía directa y que ingresa al sistema de alcantarillado pluvial.

Para determinar este coeficiente de escorrentía se tomó una imagen satelital que permitió la identificación del tipo de suelo, a partir de la creación de entidades en el software ArcGIS (ver procedimiento en el anexo H) asignando los valores de coeficiente de escorrentía recomendados por la normatividad colombiana a cada entidad creada, con las cuales se generó un archivo raster, con el cual mediante el complemento de HEC-HMS de ArcGIS se realizó la ponderación del coeficiente de escorrentía para cada una de las áreas de drenaje del alcantarillado pluvial. En la siguiente imagen se muestra la asignación de este coeficiente y en el Anexo H se encontrará el procedimiento para realizar esta actividad.

Figura 23. Coeficientes de escorrentía de las áreas aferentes al alcantarillado pluvial.



Fuente: Elaboración propia.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

En la siguiente tabla se muestra la relación de cada una de las áreas de drenaje por sector con su respectivo coeficiente de escorrentía insumos básicos para el cálculo de los caudales mediante el software seleccionado para este proceso.

Tabla 20. Resumen de área y coeficiente de escorrentía por sector.

POZO DE DESCARGA	AREA (Ha)	SECTOR	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	POZO DE DESCARGA	AREA (Ha)	SECTOR	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
PZLL75	0.293	SECTOR 1	0.391	CLL17	0.903	SECTOR 1	0.551
PZLL74	0.197	SECTOR 1	0.389	CLL6	0.79	SECTOR 1	0.476
PZLL73	0.265	SECTOR 1	0.379	PZLL63A	0.037	SECTOR 2	0.645
PZLL63	0.528	SECTOR 1	0.347	PZLL119A	0.173	SECTOR 2	0.698
PZLL56A	0.015	SECTOR 1	0.3	PZLL142	0.768	SECTOR 2	0.62
PZLL47B	0.085	SECTOR 1	0.402	PZLL141	0.283	SECTOR 2	0.716
CLL27	0.067	SECTOR 1	0.483	PZLL119	0.3	SECTOR 2	0.69
PZLL47A	0.069	SECTOR 1	0.787	PZLL133	0.202	SECTOR 2	0.815
PZLL50	0.061	SECTOR 1	0.401	PZLL133	3.871	SECTOR 2	0.583
CLL25	0.139	SECTOR 1	0.454	PZLL134	0.934	SECTOR 2	0.626
PZLL62	0.257	SECTOR 1	0.369	PZLL133	0.23	SECTOR 2	0.778
CLL26	0.037	SECTOR 1	0.863	PZLL140	0.157	SECTOR 2	0.711
PZLL61	0.153	SECTOR 1	0.388	PZLL140	0.214	SECTOR 2	0.742
CLL24	0.132	SECTOR 1	0.437	PZLL140	0.319	SECTOR 2	0.841
PZLL47	0.045	SECTOR 1	0.751	PZLL139	0.43	SECTOR 2	0.771
CLL13	1.325	SECTOR 1	0.441	PZLL139	0.216	SECTOR 2	0.733
CLL14	1.403	SECTOR 1	0.434	PZLL134I	0.221	SECTOR 2	0.845
CLL15	1.294	SECTOR 1	0.482	PZLL145	0.133	SECTOR 3	0.324
PZLL49	2.676	SECTOR 1	0.457	PZLL136	0.193	SECTOR 3	0.794
PZLL46	0.124	SECTOR 1	0.869	PZLL135A	0.174	SECTOR 3	0.8
CLL16	0.895	SECTOR 1	0.531	PZLL137	0.521	SECTOR 3	0.698
PZLL40	0.154	SECTOR 1	0.819	PZLL138	0.231	SECTOR 3	0.776
PZLL40	0.093	SECTOR 1	0.365	PZLL135	6.002	SECTOR 3	0.571
PZLL41	19.237	SECTOR 1	0.458	PZLL158A	0.069	SECTOR 4	0.3
CLL23	0.485	SECTOR 1	0.425	PZLL158	0.093	SECTOR 4	0.3
CLL22	0.637	SECTOR 1	0.371	PZLL31	0.309	SECTOR 4	0.737
CLL21	0.534	SECTOR 1	0.421	PZLL136I	0.086	SECTOR 4	0.713
CLL20	0.253	SECTOR 1	0.394	PZLL27A	0.026	SECTOR 4	0.653
CLL11	0.926	SECTOR 1	0.52	PZLL28	4.447	SECTOR 4	0.462
CLL9	3.367	SECTOR 1	0.485	PZLL150	0.198	SECTOR 4	0.3
CLL7	1.552	SECTOR 1	0.537	PZLL28A	0.073	SECTOR 4	0.366
CLL8	0.062	SECTOR 1	0.71	PZLL31A	0.116	SECTOR 4	0.637
CLL5	1.306	SECTOR 1	0.436	PZLL27D	8.19	SECTOR 5	0.535
CLL4	0.416	SECTOR 1	0.335	CLL31	0.372	SECTOR 5	0.3
CLL3	1.202	SECTOR 1	0.331	PZLL27C	0.456	SECTOR 5	0.5
CLL19	0.318	SECTOR 1	0.405	CLL30	0.518	SECTOR 5	0.3
CLL1	2.12	SECTOR 1	0.373	CLL29	0.649	SECTOR 5	0.368
CLL18	5.619	SECTOR 1	0.314	ALCANTARILLA	0.182	SECTOR 5	0.671
PZLL46	0.5	SECTOR 1	0.473	PZLL27B	0.191	SECTOR 5	0.541

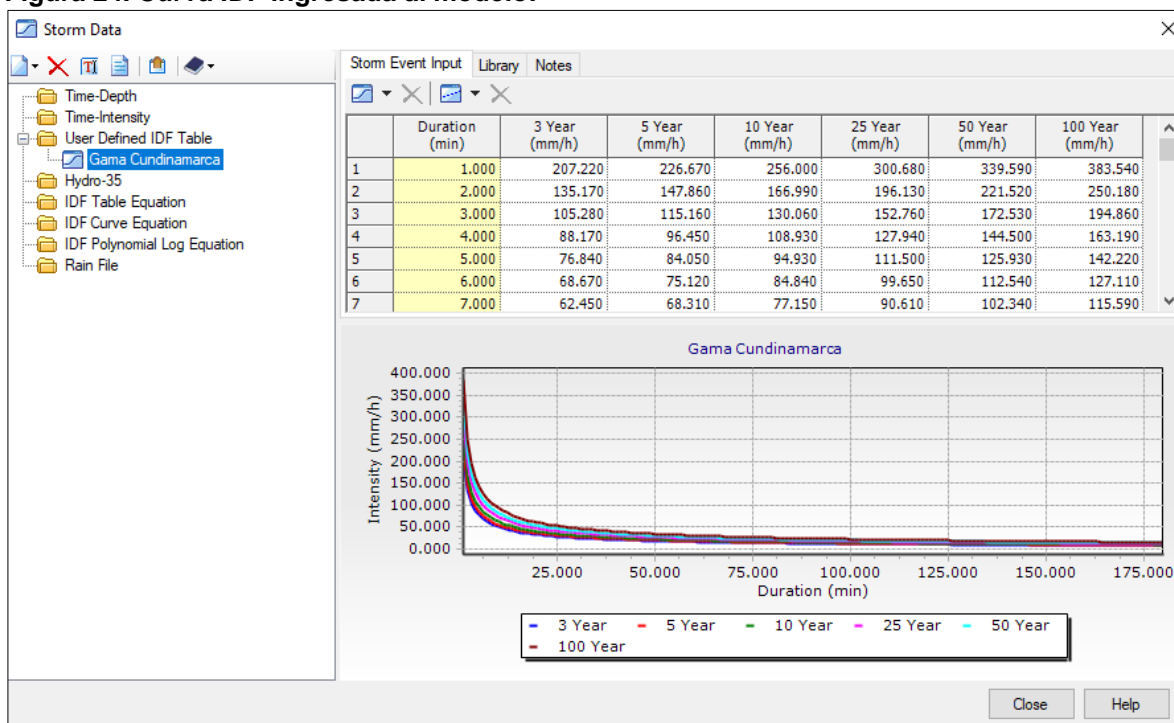
Fuente: Elaboración propia.

6.5 Modelación hidráulica red de alcantarillado existente.

La modelación hidráulica del sistema existente se realizó a partir del programa SewerGEMS V8i, en el cual se realizó el análisis de las características hidráulicas que se deben tener en cuenta en un sistema de alcantarillado pluvial.

El programa tiene varios motores de cálculo, para el proyecto se utilizarán dos, el primero denominado “Implicit (SewerGEMS Dynamic Wave)” este método permite calcular el caudal asociado a cada área de drenaje mediante el ingreso de las curvas IDF y los parámetros del método racional correspondientes a cada área de drenaje, determinados en apartados anteriores, en la siguiente figura se muestra las curvas IDF ingresada al programa.:

Figura 24. Curva IDF ingresada al modelo.



Fuente: Elaboración propia.

El programa adicionalmente puede modelar con varios escenarios de periodo de retorno para el análisis del sistema, para este proyecto en específico se realizó la selección de un periodo de retorno de 5 años, suficiente para este tipo de sistemas en pequeñas poblaciones como se podrá observar en la siguiente imagen:

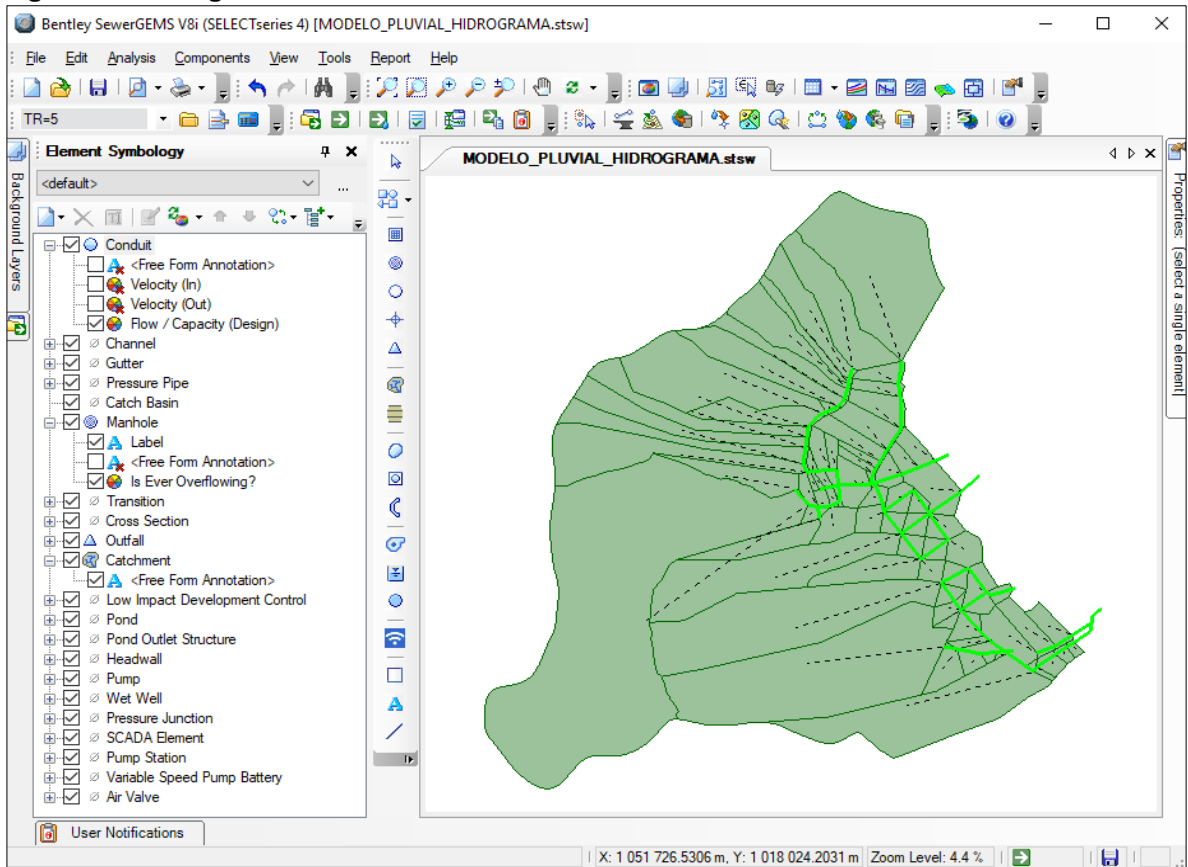
Figura 25. Periodo de retorno definido para el análisis.

Global Storm Events							
Alternative	Global Storm Event	Source	Return Event (years)	Depth (mm)	Duration (Modified Rational) (min)	Maximum Storm Intensity (mm/h)	
12:...	Base Rainfall...	Gama Cundinamarca - 5 Year	Orphan (local)	5	(N/A)	15.000	226.670


Fuente: Elaboración propia

Todos los sectores de alcantarillado pluvial definidos anteriormente fueron modelados en el mismo proyecto (o archivo) quedando configurado como se muestra a continuación.

Figura 26. Vista general de las cuencas modeladas.



Fuente: Elaboración propia

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Para obtener los caudales generados por las áreas de drenaje para el periodo de retorno seleccionado, se debe diligenciar una información base requerida por el programa específicamente para el método racional, como lo es: pozo al que descarga el área de drenaje, el tiempo de concentración que puede ser ingresado manualmente o calculado por el mismo programa por varios métodos, que para el desarrollo del proyecto será definido un tiempo de concentración mínimo de 15 minutos el cual es la media del rango recomendado por la normatividad para este tipo de sistemas, adicionalmente se debe ingresar para cada una de las áreas el coeficiente de escorrentía calculado anteriormente. En la siguiente figura se representa el entorno donde se deben ingresar estos parámetros.

Figura 27. Información base áreas de drenaje método racional.

Hydrology : TR=5 (MODELO_PLUVIAL_HIDROGRAMA.stsw)

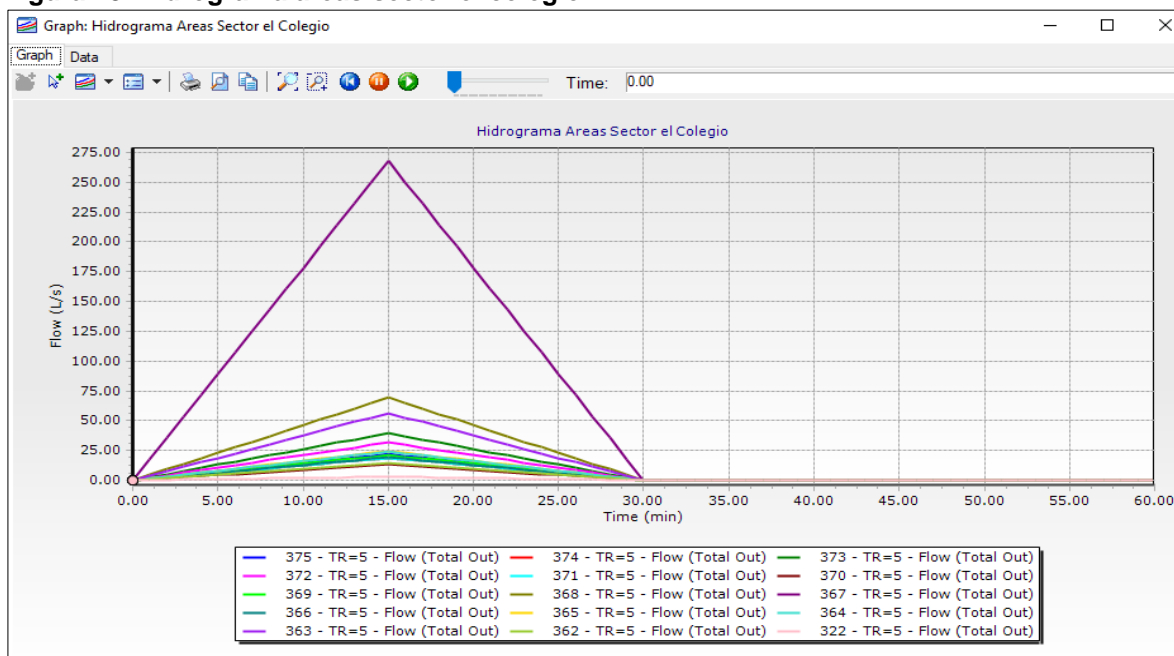
☒ Catchment
☐ Low Impact Development Control
☐ Catch Basin

Column View	*	ID	Label	Runoff Method	Outflow Element	Use Scaled Area?	Area (User Defined) (ha)	Tc Input Type	Time of Concentration (min)	Tc Data Collection	Runoff Coefficient (Rational)
<All>											
fLoss											
Green-Ampt											
*Groundwater											
Horton											
Generic UH											
Modified Rational											
Rational											
RTK UH											
SCS CN											
SCS UH											
SWMM-Runoff											
Initial Loss and Consta...											
Initial Loss and Consta...											
ILSAX											
Time-Area											
448: 318	✓	448	318	Rational Method	PZLL145	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.324
449: 319	✓	449	319	Rational Method	PZLL75	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.391
450: 320	✓	450	320	Rational Method	PZLL74	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.389
451: 321	✓	451	321	Rational Method	PZLL73	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.379
452: 322	✓	452	322	Rational Method	PZLL63A	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.645
453: 323	✓	453	323	Rational Method	PZLL63	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.347
454: 324	✓	454	324	Rational Method	PZLL56A	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.300
455: 325	✓	455	325	Rational Method	PZLL47B	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.402
456: 326	✓	456	326	Rational Method	CLL27	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.483
457: 327	✓	457	327	Rational Method	PZLL47A	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.787
458: 328	✓	458	328	Rational Method	PZLL50	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.401
459: 329	✓	459	329	Rational Method	CLL25	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.454
460: 330	✓	460	330	Rational Method	PZLL62	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.369
461: 331	✓	461	331	Rational Method	CLL26	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.863
462: 332	✓	462	332	Rational Method	PZLL61	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.388
463: 333	✓	463	333	Rational Method	CLL24	✓		User Defined Tc	15.000	<Collection: 0 items>	0.437

Fuente: Elaboración propia

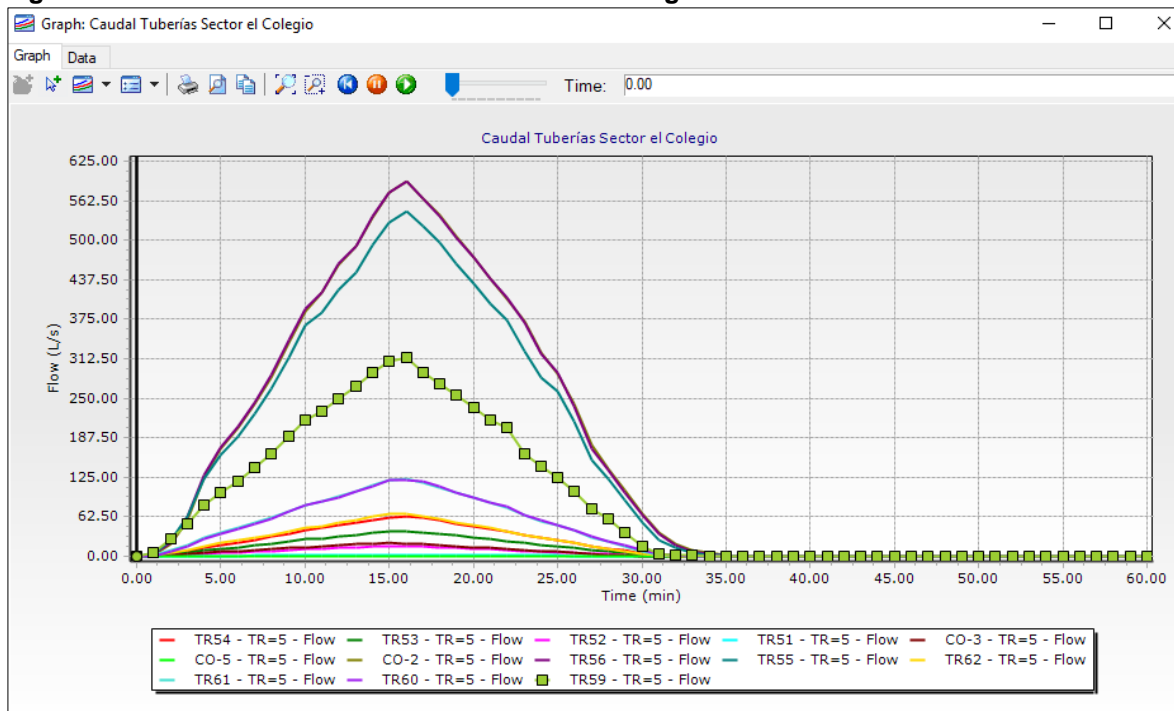
A partir de este modelo se obtienen los hidrogramas de cada una de las áreas de drenaje, donde se obtiene el caudal máximo que aporta cada una de ellas, de igual manera se muestra gráficamente el comportamiento del flujo en cada una de las tuberías del sistema, en las siguientes figuras se representan estos dos elementos que genera el software.

Figura 28. Hidrograma áreas sector el colegio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Caudal acumulado tuberías sector el colegio.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados detallados obtenidos para cada uno de los colectores se encuentran en el Anexo D, sin embargo, a continuación, se presenta un resumen general de los resultados obtenidos.

En la siguiente tabla se aprecia el comportamiento de algunos parámetros agrupados por diámetro.

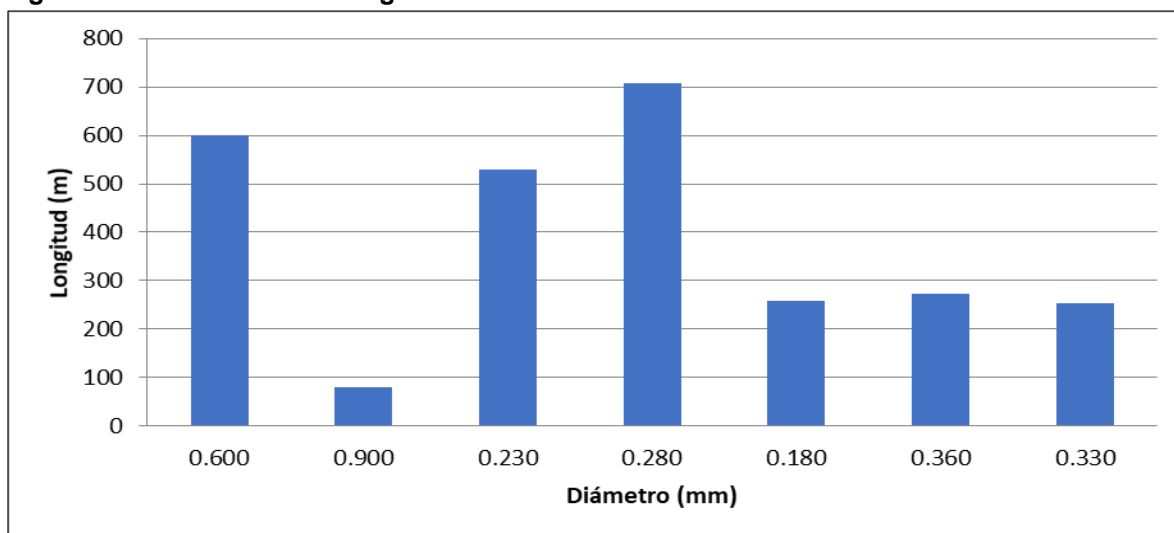
Tabla 21. Resumen por diámetros de resultados modelación hidráulica

Diámetro (m)	Longitud (m)	# Tubos	V media (m/s)	V max (m/s)	Tc máx (min)	Q max (l/s)	Tubos a presión	% tubos a presión
0.600	600.07	20	5.12	10.91	14.5	1871.4	3	15.0%
0.900	80.88	3	4.46	6.11	12.7	573.06		0.0%
0.230	529.98	12	2.67	5.22	13.3	182.17	6	50.0%
0.280	708.67	18	4.94	9.3	14.5	314.53	2	11.1%
0.180	257.77	15	4.21	7.07	10.5	292.07	15	100.0%
0.360	273.35	8	6.03	7.96	15.0	330.13	2	25.0%
0.330	253.01	6	5.07	8.66	15.5	594.1	2	33.3%

Fuente: Elaboración propia

Para efectos de poder visualizar más fácil los resultados, con base en la tabla anterior se elaboran las gráficas que se presentan a continuación.

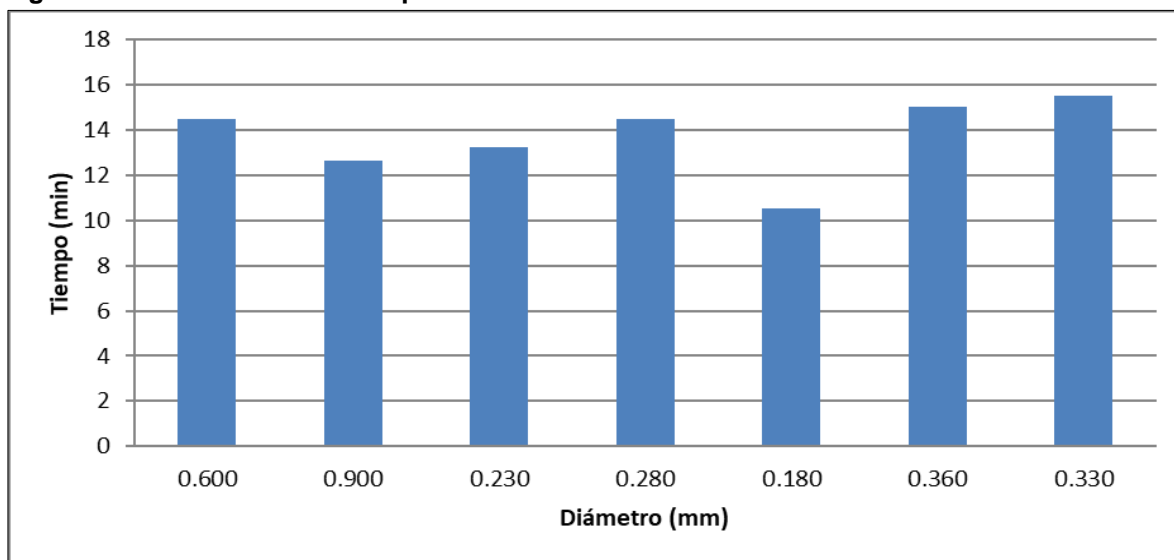
Figura 30. Distribución de longitud de redes vs. Diámetro



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede apreciar que existe una gran longitud en diámetro menor a 0.25 metros equivalente a 10 pulgadas, siendo este el diámetro mínimo para sistemas de alcantarillado pluvial.

Figura 31. Distribución de Tiempo de concentración vs. Diámetro



Fuente: *Elaboración propia*

En la imagen se puede observar que los tiempos de concentración son similares para todos los diámetros, y que no superan los 16 minutos esto debido a las grandes velocidades que se manejan en el alcantarillado por las altas pendientes en las vías del municipio. En el anexo D se presenta el completo resumen de resultados de cada tramo de alcantarillado.

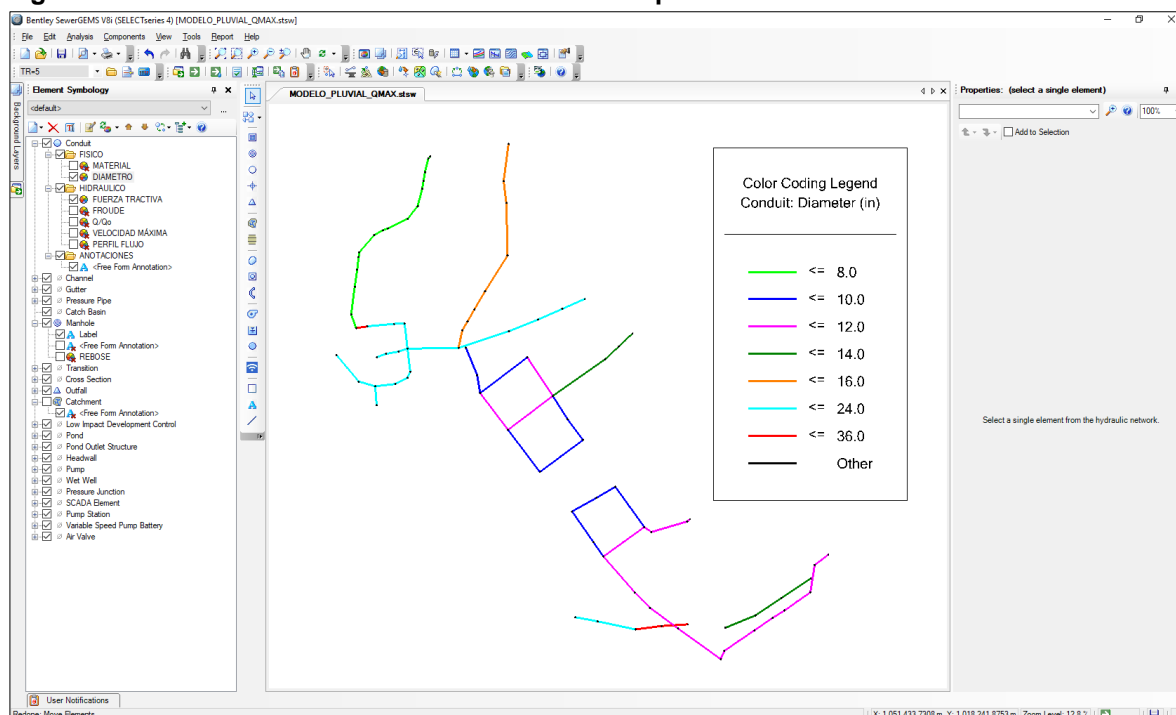
Ahora bien, la resolución 0330 de 2017 pide analizar la fuerza tractiva mínima en cada uno de los tramos de alcantarillado, para que esta no sea inferior a 2 pascales, el modelo “Implicit (SewerGEMS Dynamic Wave)” no arroja este parámetro de forma directa, debido a que el motor evalúa las velocidades en el tramo por lo cual es necesario tomar los caudales máximos y evaluar el sistema el sistema en otro motor de cálculo denominado “GVF-Convex (SewerCAD)” en el cual se analiza el sistema de forma estática con caudales fijos, a partir de este, si es posible obtener todos los parámetros que exige estudiar la normatividad.

A continuación, se presentarán los resultados físicos e hidráulicos del sistema de alcantarillado pluvial del municipio de Gama.

6.5.1 Diámetros en la red.

La siguiente ilustración exhibe la distribución de diámetros en el sistema de alcantarillado pluvial existente:

Figura 32. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes que cada uno representa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 22. Distribución de diámetros de la red pluvial

DIÁMETRO (IN)	SUMA LONGITUD (m)	# TRAMOS
8	257.77	15.00
10	529.98	12.00
12	708.67	18.00
14	253.01	6.00
16	273.35	8.00
24	633.24	21.00
36	47.71	2.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

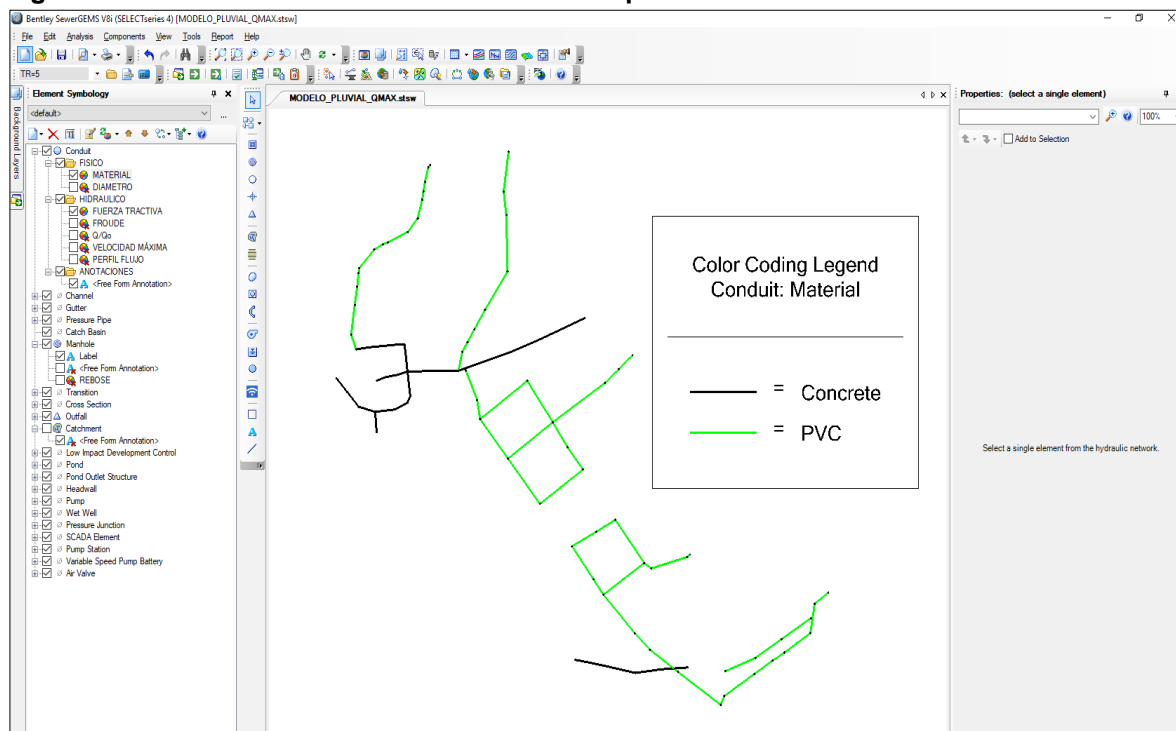
Como se puede observar existen diámetros de 8 pulgadas que para un alcantarillado pluvial no son recomendados en la normatividad colombiana ya que

para los grandes caudales que se estiman en este tipo de sistemas presentan relaciones de capacidad superiores a las permitidas.

6.5.2 Materiales en la red.

La siguiente imagen y tabla describe los materiales encontrados en la red de alcantarillado en cuestión:

Figura 33. Material del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes que cada uno representa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23. Distribución de material de la red pluvial

MATERIAL	SUMA LONGITUD (m)	# TRAMOS
Concrete	680.95	23.00
PVC	2022.78	59.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

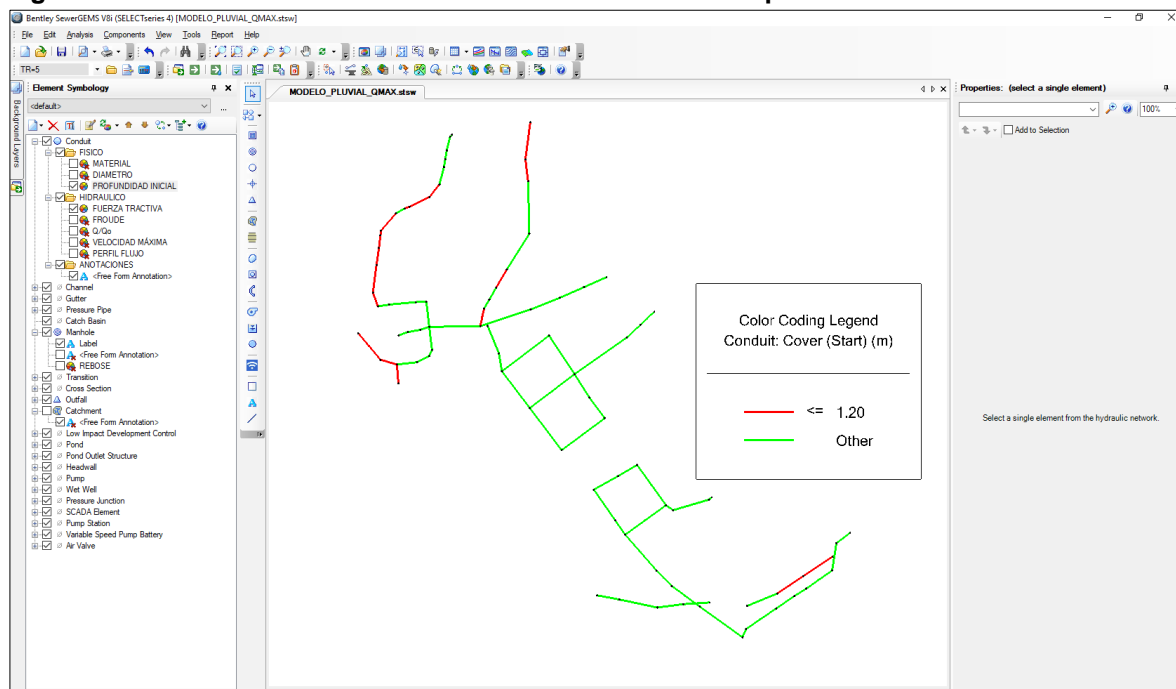
Como se puede observar la distribución del material en el alcantarillado del municipio de gama está dada por dos materiales siendo el principal el PVC, el cual permite que las características hidráulicas mejoren debido a que su coeficiente de

rugosidad es menor al del concreto y soporta más ante la abrasión presentada en grandes velocidades de flujo.

6.5.3 Profundidades mínimas de la red combinada

Las profundidades mínimas de la red son evaluadas tanto al inicio como al final de colector de la siguiente manera:

Figura 34. Profundidad Inicial del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

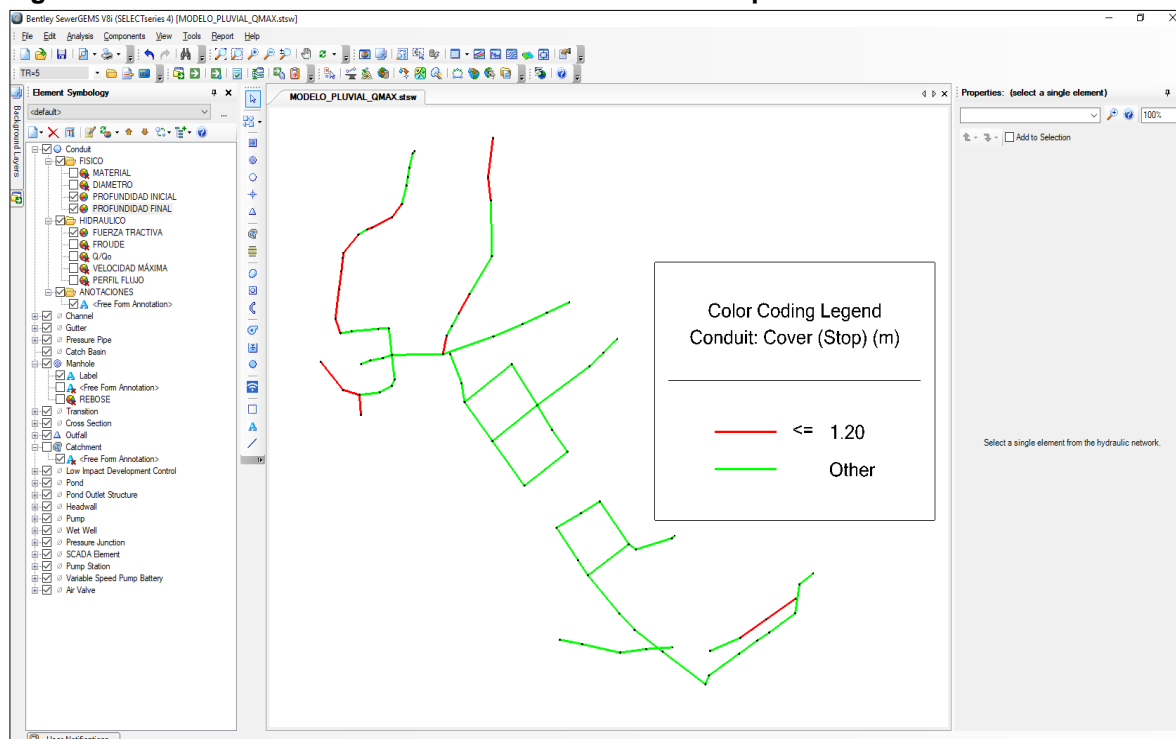
Las tuberías que tengan una profundidad inicial (cover start) menores a 1.20 m no cumplen con la recomendada por la norma colombiana.

Tabla 24. Distribución de recubrimientos iniciales de la red pluvial

PROFUNDIDAD INICIAL	SUMA LONGITUD (m)	# TRAMOS
CUMPLE	2196.98	63.00
NO CUMPLE	506.75	19.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Profundidad Final del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Las tuberías que tengan una profundidad final (cover stop) menores a 1.20 m no cumplen con la recomendada por la norma colombiana.

Tabla 25. Distribución de recubrimientos Finales de la red pluvial

PROFUNDIDAD FINAL	SUMA LONGITUD (m)	# TRAMOS
CUMPLE	2113.10	62.00
NO CUMPLE	590.63	20.00
Total, general	2703.73	82.00

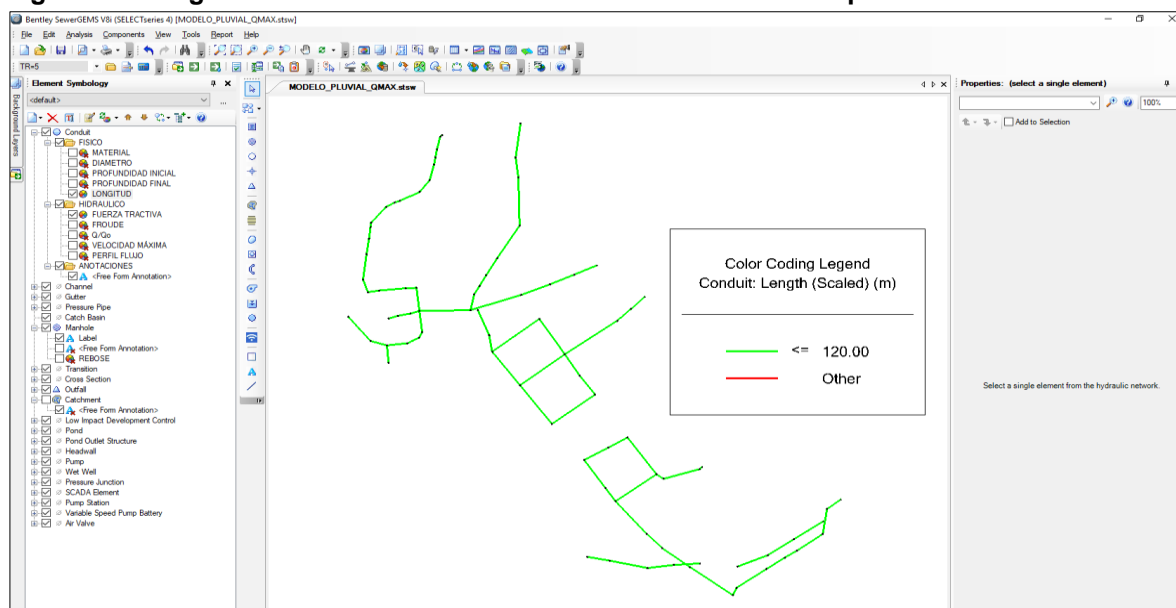
Fuente: Elaboración propia

En este aspecto al igual que en la profundidad inicial, aunque hay tuberías por debajo de la profundidad mínima recomendada, no se considera necesario intervenir la red para cumplir estos parámetros, puesto que están ligados con la estabilidad de la tubería ante las cargas vehiculares o de otro tipo que pueden sufrir en su funcionamiento y en vista de que no hay reportes de colapso de la tubería se considera que la cimentación de estas tuberías es suficiente y no se requiere intervenir por este aspecto de la norma.

6.5.4 Longitud entre pozos

A continuación, se evalúa el criterio de una longitud máxima de 120 m, estipulada por el RAS 2000 en la resolución 0330 de 2017:

Figura 36. Longitudes de colectores del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Distribución de longitudes de la red pluvial

LONGITUD	SUMA LONGITUD (m)	# TRAMOS
CUMPLE	2703.73	82.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

6.5.5 Pendiente

El sistema no tiene tramos en pendiente negativa, por lo cual el total de la red cumple este parámetro.

Tabla 27. Distribución de pendiente de la red pluvial

PENDIENTE	SUMA LONGITUD (m)	# TRAMOS
CUMPLE	2703.73	82.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta una tabla resumen de los parámetros físicos incumplidos para el sistema de alcantarillado pluvial evaluado:


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Tabla 28. Resumen parámetros físicos incumplidos de la red pluvial

PARÁMETRO	LONGITUD (m)	%	# DE TRAMOS
LONGITUD (m)	0.00	0.00%	0
PENDIENTE (%)	0.00	0.00%	0
PROFUNDIDAD INICIAL (m)	506.75	18.74%	19
PROFUNDIDAD FINAL (m)	590.63	21.85%	20
DIÁMETRO	257.77	9.53%	15

Fuente: Elaboración propia

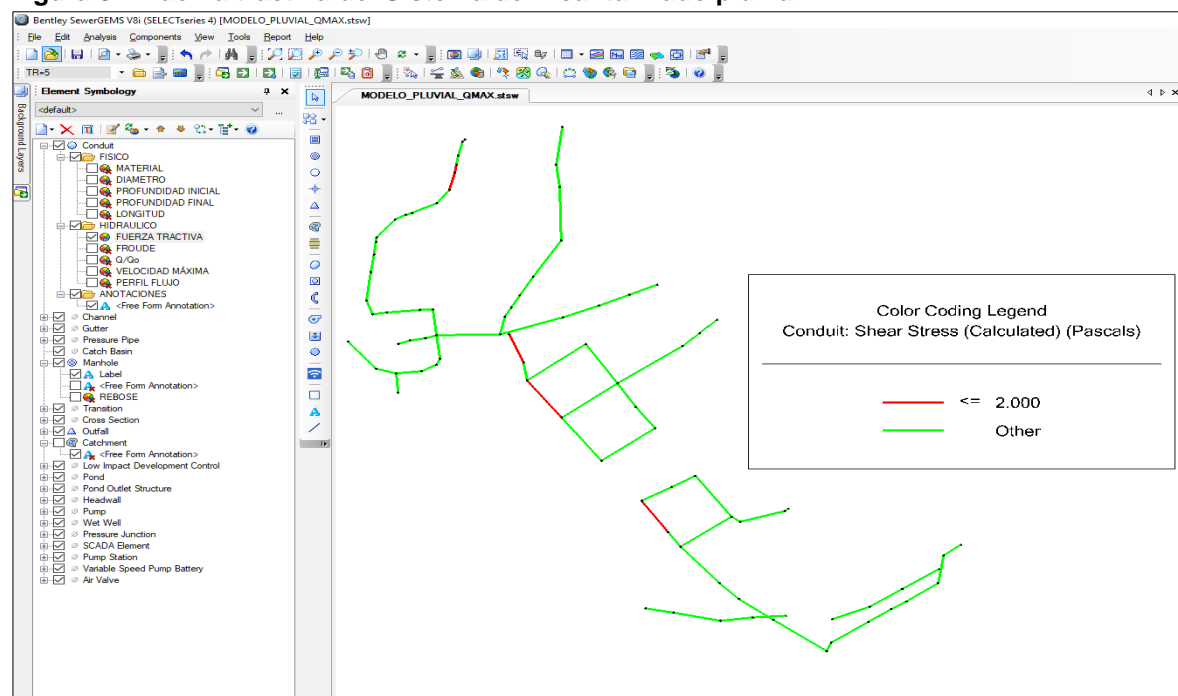
Como se puede observar y con base en lo explicado anteriormente por parámetros físicos especialmente por el diámetro mínimo de la red se deben intervenir 15 tramos de alcantarillado con el fin de que las relaciones hidráulicas sean las adecuadas para este tipo de sistema,

A continuación, se mostrarán los parámetros hidráulicos tenidos en cuenta en el análisis de la red de alcantarillado pluvial.

6.5.6 Fuerza Tractiva

La valoración de este parámetro se efectúa recordando el valor mínimo establecido por el decreto 0330 del 2017, artículo 149, de 2.0 Pa para redes de alcantarillado pluvial o combinada.

Figura 37. Fuerza tractiva del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Distribución de fuerza tractiva de la red pluvial

FUERZA TRACTIVA	SUMA LONGITUD (m)	# Tramos
CUMPLE	2529.11	77.00
NO CUMPLE	174.62	5.00
Total, general	2703.73	82.00

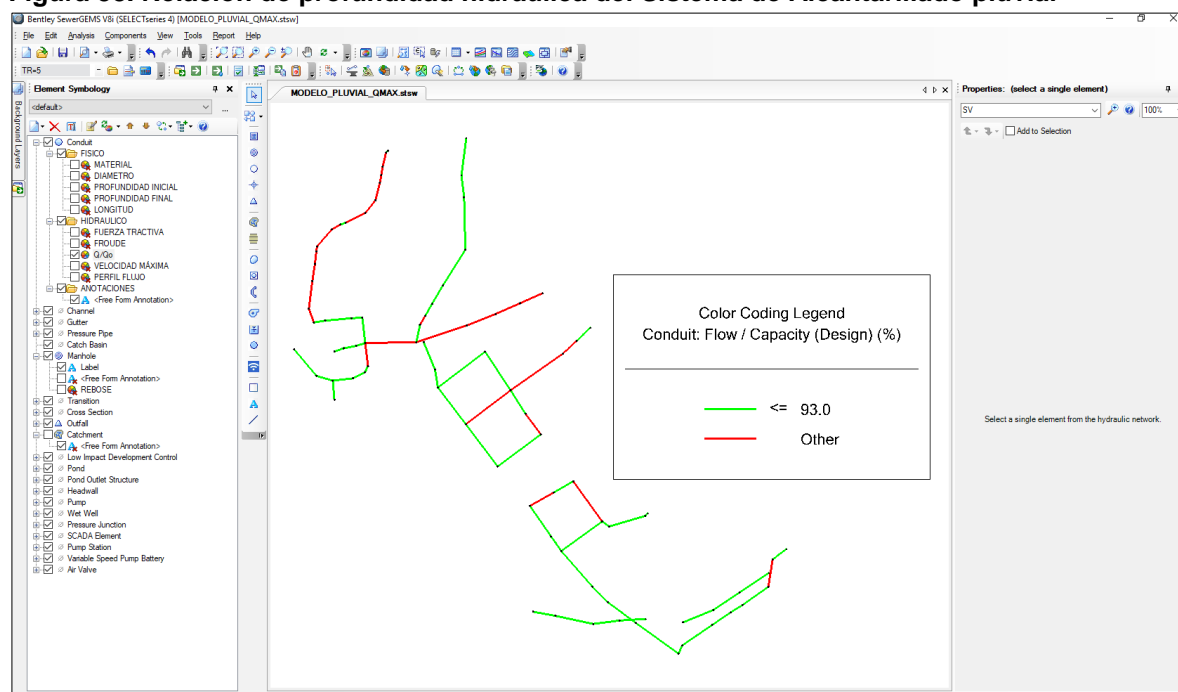
Fuente: Elaboración propia

Este parámetro mide la capacidad de auto limpieza de la tubería, esto quiere decir la capacidad de transportar los sedimentos sin ver afectada las relaciones de capacidad en la tubería por acumulación de partículas, es uno de los parámetros más importantes a ser analizados ya que da un panorama amplio del estado de la red, para el municipio de Gama se puede observar que la red solo tiene 5 tuberías presentando esta falla, esto tiene relación directa con las altas pendientes que tiene las vías del municipio.

6.5.7 Relación de profundidad hidráulica (Q/Qo)

Tal y como se encuentra consignado en la resolución 0330 del 2017, artículo 15, la relación máxima entre profundidad y diámetro de la tubería en los alcantarillados pluviales y combinados tiene un máximo valor permisible del 93%. La siguiente figura y tabla devela la valoración del sistema con respecto a este parámetro:

Figura 38. Relación de profundidad hidráulica del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Distribución de relación de profundidad hidráulica de la red pluvial

Q/Qo	SUMA LONGITUD (m)	# Tramos
CUMPLE	1818.25	54.00
NO CUMPLE	885.48	28.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver 28 tramos de tubería aproximadamente 885 metros incumplen este parámetro de capacidad hidráulica, lo que quiere decir que en un evento de precipitación como el estudiado se pueden llegar a presentar tuberías trabajando a presión e incluso rebosamiento de las estructuras de conexión, en la siguiente figura se puede apreciar esta situación.

Figura 39. Perfil tramo CLL3 a CLL8



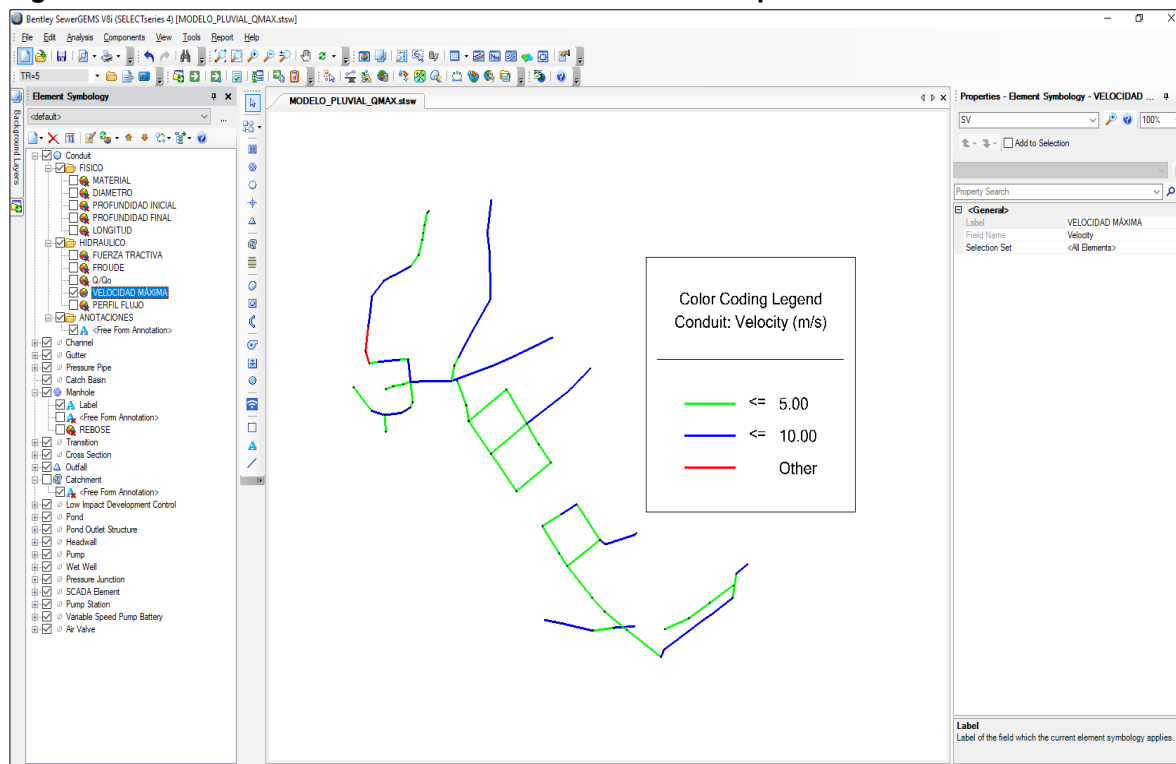
Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se puede apreciar que con el evento de lluvia cargado el nivel de agua (HGL en el software) rebosa los pozos de inspección lo que causaría inundaciones en las vías del municipio, presentando grandes riesgos públicos a la población del municipio. Con este parámetro se debela que efectivamente la red presenta fallas considerables que necesitan ser corregidas para tener un sistema óptimo que beneficie a la población.

6.5.8 Velocidad máxima

Se valora el sistema bajo el criterio de una velocidad máxima de 5.0 m/s:

Figura 40. Velocidad máxima del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Velocidad de la red pluvial

Velocidad máxima	SUMA LONGITUD (m)	# Tramos
CUMPLE	1401.28	40.00
NO CUMPLE	1302.45	42.00
Total, general	2703.73	82.00

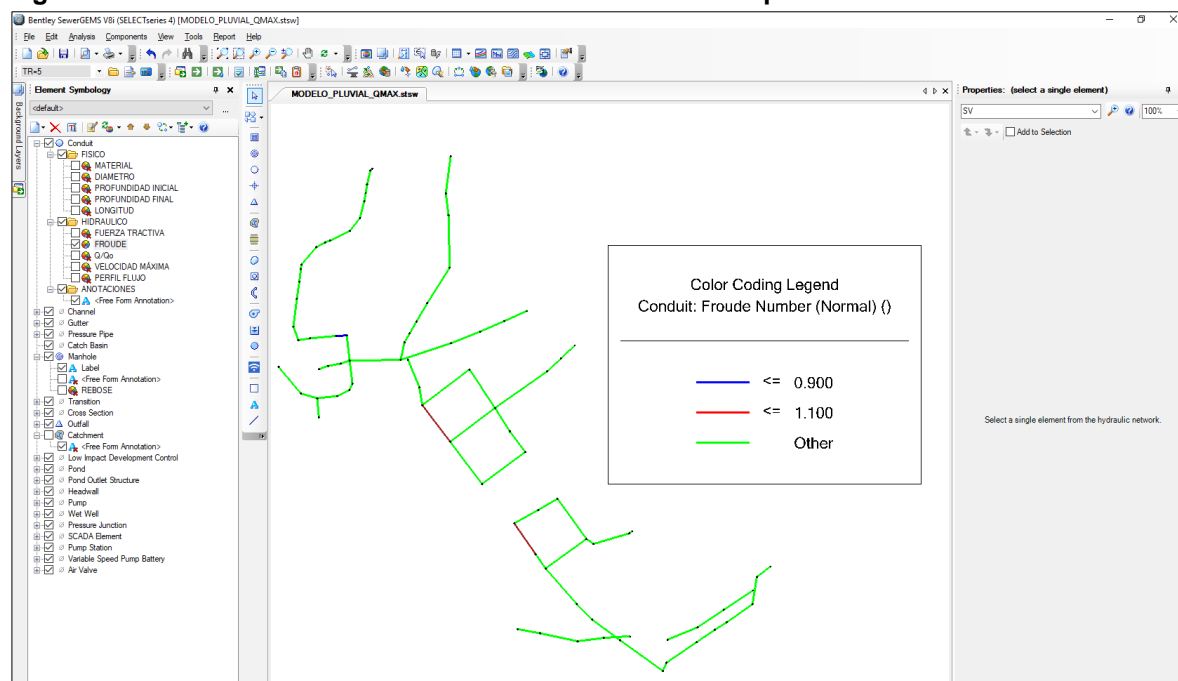
Fuente: Elaboración propia

En la norma se hace referencia que este parámetro de velocidad puede llevarse hasta el límite que permita el material propio de la tubería y en ningún caso deberá superar los 10 m/s, se puede observar en la imagen anterior que aun analizando la velocidad con un máximo de 10 m/s algunas tuberías aún están por encima de este parámetro, esto debido a dos factores importantes, diámetros muy bajos y pendientes muy altas, es importante dentro del diseño garantizar que las tuberías no superen este valor para así poder garantizar la durabilidad de la tubería cuando se presenten los caudales máximos.

6.5.9 Numero de Froude

A través del número de Froude se puede establecer el régimen de flujo que se presenta (subcrítico, supercrítico y crítico). Con base en esto es posible establecer el tipo de empalme a realizar. Según el resultado de la modelación se encontró que todos los tramos cumplen con este parámetro, como se puede ver en la siguiente figura.

Figura 41. Numero de Froude del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Distribución de relación de velocidad de la red pluvial

Numero de Froude	SUMA LONGITUD (m)	# Tramos
SUB CRITICO	286.72	7.00
CUMPLE	286.72	7.00
SUPER CRITICO	2417.01	75.00
CUMPLE	2417.01	75.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el sistema no presenta problemas de flujo crítico en ninguna de las tuberías de alcantarillado del municipio. A continuación, se presenta una tabla resumen de los parámetros hidráulicos incumplidos para el sistema de alcantarillado pluvial evaluado:

Tabla 33. Resumen parámetros hidráulicos incumplidos de la red pluvial

PARÁMETRO	LONGITUD (m)	%	# DE TRAMOS
FUERZA TRACTIVA (Pa)	174.62	6.46%	5
Q/Qo (%)	863.57	31.94%	27
VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	1267.69	46.89%	41
NUMERO DE FROUDE	0.00	0.00%	0

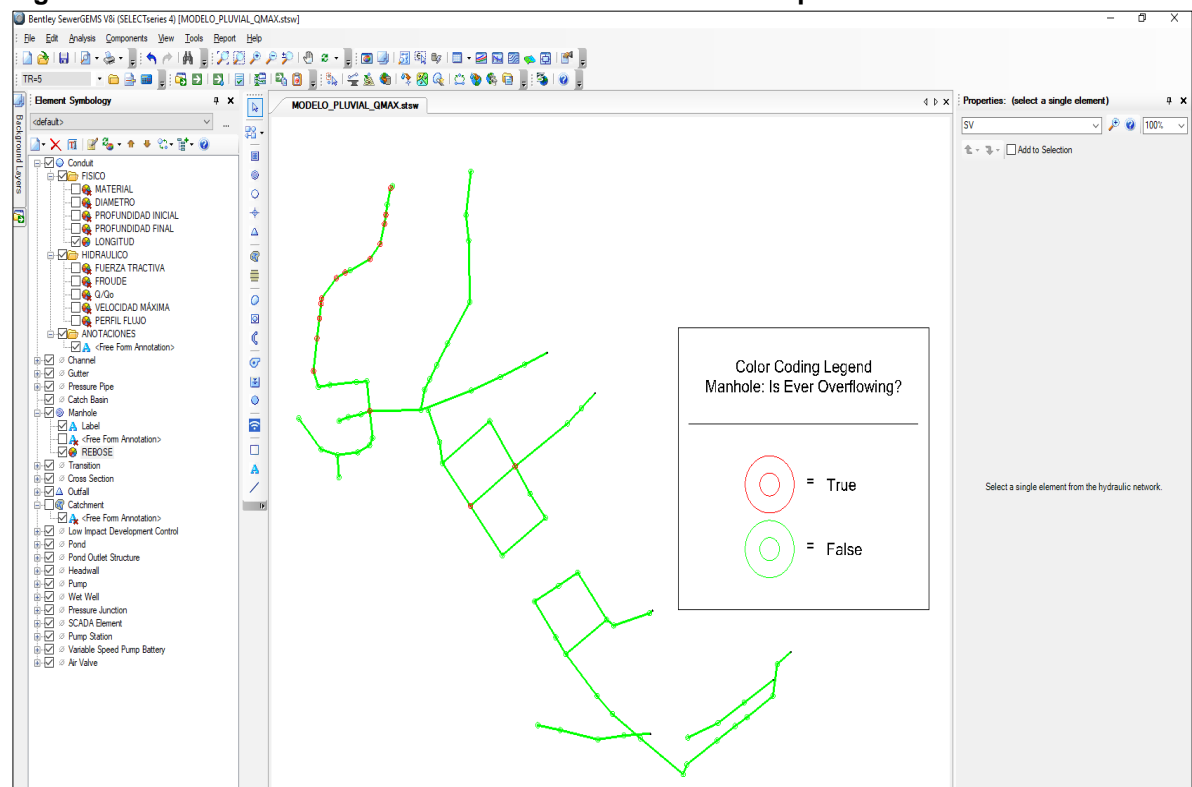
Fuente: Elaboración propia

Los dos principales parámetros que se tuvieron en cuenta para ver la necesidad de realizar una optimización al sistema de alcantarillado pluvial del municipio son el de fuerza tractiva y capacidad (Q/Qo) donde se evidencia que al menos 27 tuberías deben ser modificadas para garantizar que el sistema funcione correctamente y beneficie realmente a la población.


6.5.10 Rebosamiento de pozos

Otro parámetro que se analizó es el rebosamiento de los pozos debido al evento de lluvia modelado, el programa nos muestra si con el caudal máximo cargado se presenta esta situación.

Figura 42. Rebosamiento Pozos del Sistema de Alcantarillado pluvial



Fuente: Elaboración propia

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

En total 21 pozos de alcantarillado pluvial presenta desbordamiento con el caudal máximo cargado como se puede observar en la figura anterior.

Luego de realizar todos los análisis correspondientes se puede evidenciar que el sistema de alcantarillado pluvial del municipio sí presenta fallas tanto físicas como hidráulicas, siendo las ultimas las más importantes debido a que comprometen de manera directa a la población del municipio y su bienestar, ya que en el evento en que se presente la lluvia de análisis o una superior se llegan a presentar rebosamiento en los pozos del sistema generando una inundación indeseada de las calles que produce malestar en la población.

El parámetro más importante evaluado y en el cual se presenta más énfasis es la capacidad hidráulica de la tubería donde 863.57 metros de tubería el 31.94% de la red total del municipio presenta problemas, en vista de esto, es necesario realizar un diseño a partir de los resultados encontrados en el diagnóstico, priorizando el cambio por condiciones hidráulicas y no por las físicas esto con el fin de obtener un alcantarillado eficiente a nivel operativo y que a nivel económico no genere altos costos de inversión.

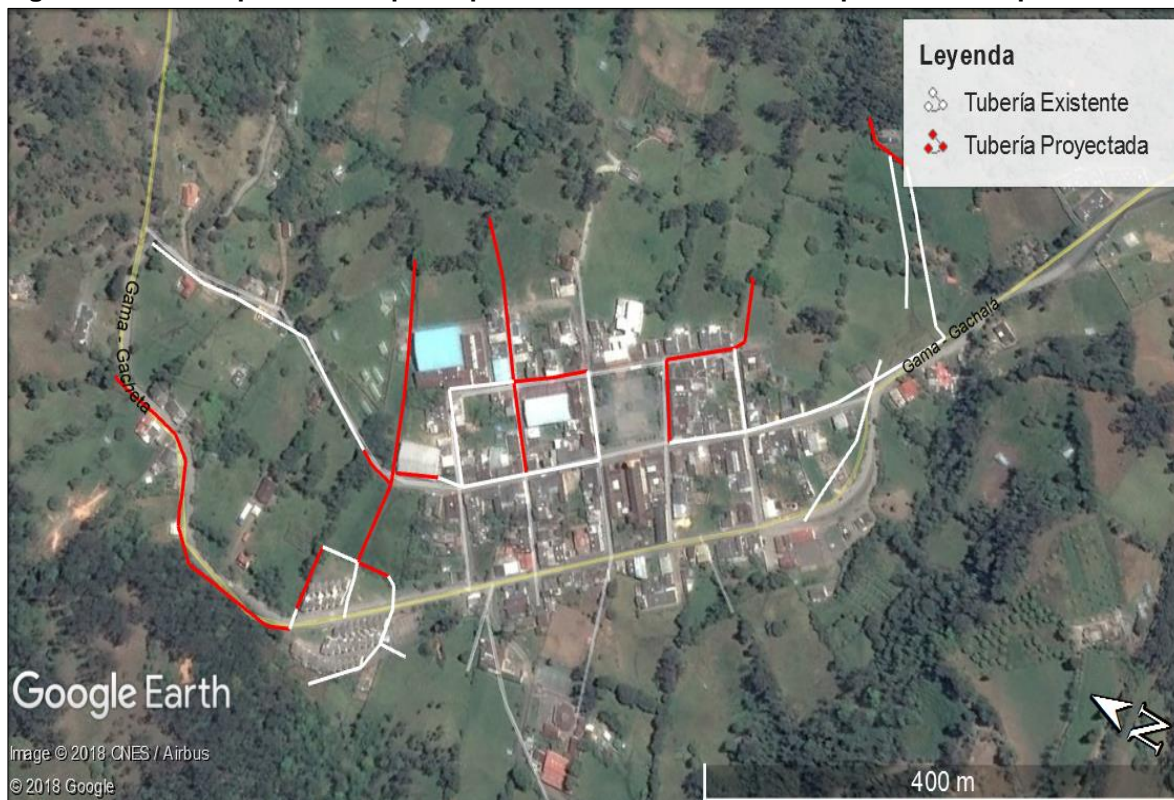
6.6 Modelación hidráulica red de alcantarillado proyectada.

Como primera medida el diseño consiste en garantizar que el total del caudal generado por el evento de lluvia sea transportado por las tuberías con una relación menor o igual al 93% como exige la norma. En segundo lugar, se decidió manejar los mismos sectores de drenaje ya que estos se encuentran bien distribuidos en el municipio.

El procedimiento realizado para el diseño constó de ir modificando los diámetros de las tuberías y las pendientes de estos para cumplir todos los parámetros hidráulicos descritos en la resolución 330 de 2017.

En la siguiente figura se muestra la ubicación espacial de la red de alcantarillado pluvial diseñada.

Figura 43. Tramos por renovar para optimizar red de alcantarillado pluvial municipio de Gama.



Fuente: *Elaboración propia*

Para mejorar todas las condiciones hidráulicas del alcantarillado del municipio de Gama, Cundinamarca se deben renovar 41 tramos de alcantarillado con una longitud de 1160.10 metros en tubería de diámetros desde las 10 pulgadas hasta las 30 pulgadas. En la siguiente tabla se resume cada uno de los cambios realizados en cada una de las tuberías.




 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

Tabla 34. Resumen de diseño para cada tramo de alcantarillado.


DIAGNOSTICO RED					DISEÑO RED			ANÁLISIS		
NODO INICIAL	NODO FINAL	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)
CLL1	CLL2	8	PVC	50.33	10	PVC	29.72	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL10	CLL11	8	PVC	11.19	18	PVC	8.68	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL11	CLL12	8	PVC	5.93	18	PVC	6.59	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL12	CLL13	8	PVC	12.15	18	PVC	10.53	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL13	CLL14	8	PVC	7.86	18	PVC	7.86	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL14	CLL15	8	PVC	12.3	18	PVC	12.3	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL15	PZLL49	8	PVC	9.91	18	PVC	11.94	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL49	PZLL50	36	Concrete	2.07	36	Concrete	2.07	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL50	PZLL62	24	Concrete	12.91	24	PVC	11.08	NO CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
PZLL62	PZLL61	24	Concrete	0.45	24	PVC	2.52	NO CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
PZLL61	PZLL47B	24	Concrete	9.44	24	Concrete	9.44	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL2	CLL3	8	PVC	5.72	10	PVC	3.58	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL47	CLL26	24	Concrete	13.84	24	Concrete	13.84	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL26	PZLL47A	24	Concrete	8.35	24	Concrete	8.35	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL47A	PZLL47B	24	Concrete	26.35	24	Concrete	26.35	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL16	PZLL41	24	Concrete	10.28	24	Concrete	10.28	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL41	PZLL40	24	Concrete	6.58	24	Concrete	6.58	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL17	PZLL40	24	Concrete	21.36	24	Concrete	21.36	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL40	PZLL46	24	Concrete	10.2	24	Concrete	10.2	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL46	CLL27	24	Concrete	19.24	24	Concrete	19.24	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

NODO INICIAL	DIAGNOSTICO RED				DISEÑO RED			ANÁLISIS		
	NODO FINAL	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)
CLL27	PZLL56A	24	Concrete	33.1	24	PVC	11.62	NO CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
PZLL56A	PZLL47B	24	Concrete	0.44	27	PVC	1.61	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
CLL3	CLL4	8	PVC	0.62	12	PVC	2.22	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL47B	PZLL63	24	Concrete	2.51	30	PVC	2.86	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
PZLL63	PZLL73	24	Concrete	7.02	30	PVC	6.08	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
PZLL73	PZLL74	24	Concrete	6.84	30	PVC	6.84	CAMBIO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL74	PZLL75	24	Concrete	7.34	30	PVC	7.34	CAMBIO	CAMBIO	NO CAMBIO
CLL18	CLL19	16	PVC	21.28	16	PVC	21.28	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL19	CLL20	16	PVC	24.61	16	PVC	24.61	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL20	CLL21	16	PVC	16.79	16	PVC	16.79	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL21	CLL22	16	PVC	7.2	16	PVC	7.2	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL22	CLL23	16	PVC	9.31	16	PVC	9.31	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL4	CLL5	8	PVC	0.2	12	PVC	2.52	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL23	CLL24	16	PVC	6.82	16	PVC	6.82	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL24	CLL25	16	PVC	0.53	16	PVC	3.61	NO CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL25	PZLL63	16	PVC	7.81	16	PVC	5.53	NO CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL5	CLL6	8	PVC	0.22	14	PVC	2.68	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL6	CLL7	8	PVC	4.56	16	PVC	2.2	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL7	CLL8	8	PVC	6.47	16	PVC	4.35	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
CLL8	CLL9	8	PVC	23.62	16	PVC	23.62	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
CLL9	CLL10	8	PVC	0.88	18	PVC	5.21	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL75	O-1	24	Concrete	7.61	30	PVC	7.61	CAMBIO	CAMBIO	NO CAMBIO

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

NODO INICIAL	DIAGNOSTICO RED				DISEÑO RED			ANÁLISIS		
	NODO FINAL	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)
PZLL134I	PZLL133	10	PVC	3.7	10	PVC	3.7	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL63A	PZLL119A	10	PVC	0.96	10	PVC	1.3	NO CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL119A	PZLL119	10	PVC	3.02	10	PVC	3.02	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL119	PZLL141	10	PVC	8.12	10	PVC	8.12	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL141	PZLL140	12	PVC	3.1	12	PVC	3.1	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL140	PZLL142	14	PVC	5.12	18	PVC	5.41	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL142	PZLL143	14	PVC	6.05	18	PVC	5.65	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL133	PZLL140	12	PVC	4.89	14	PVC	4.89	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL139A	PZLL140	10	PVC	7.13	12	PVC	7.13	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL139	PZLL139A	10	PVC	1.97	12	PVC	1.97	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL134	PZLL139	10	PVC	6.27	10	PVC	6.27	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL143	O-2	14	PVC	16.93	18	PVC	16.76	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL119I	PZLL133	12	PVC	4.78	12	PVC	4.78	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL135I	PZLL135A	10	PVC	3.6	10	PVC	3.6	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL138	PZLL137	10	PVC	7.91	16	PVC	7.91	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL135	PZLL138A	10	PVC	0.72	16	PVC	5.04	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL138A	PZLL138	10	PVC	10.14	16	PVC	6.94	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL135A	PZLL136	10	PVC	8.91	10	PVC	8.91	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL136	PZLL137	12	PVC	8.16	12	PVC	8.16	NO CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL137	PZLL137A	12	PVC	7.39	16	PVC	8	CAMBIO	NO CAMBIO	CAMBIO
PZLL137A	PZLL145	12	PVC	22.73	16	PVC	22.73	CAMBIO	NO CAMBIO	NO CAMBIO

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

NODO INICIAL	DIAGNOSTICO RED				DISEÑO RED			ANÁLISIS		
	NODO FINAL	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)	Φ (in)	MATERIAL	PENDIENTE (%)
PZLL145	O-3	12	PVC	9.55	16	PVC	9.55	CAMBIO	NO	NO CAMBIO
PZLL136I	PZLL31	12	PVC	6.59	12	PVC	6.59	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL31	PZLL31A	12	PVC	9.86	12	PVC	9.86	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL31A	PZLL27A	12	PVC	12.31	12	PVC	12.31	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL27A	PZLL28	12	PVC	5.17	12	PVC	5.17	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL28	PZLL28A	12	PVC	30.8	12	PVC	30.8	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL28A	PZLL150	12	PVC	25.62	12	PVC	25.62	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL150	PZLL158	12	PVC	14.18	12	PVC	14.18	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL158	PZLL158A	12	PVC	22.43	12	PVC	22.43	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL158A	PZLL158B	12	PVC	11.6	12	PVC	11.6	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL158B	PZLL158C	12	PVC	6.04	14	PVC	6.04	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL158C	O-5	12	PVC	9.9	14	PVC	9.72	NO	CAMBIO	CAMBIO
PZLL27D	PZLL27C	24	Concrete	9.1	24	Concrete	9.1	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL27C	PZLL27B	24	Concrete	9.66	24	Concrete	9.66	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
PZLL27B	ALCANTARILLA	24	Concrete	5.52	24	Concrete	5.52	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
ALCANTARILLA	SV	36	Concrete	11.49	36	Concrete	11.49	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
CLL29	CLL30	14	PVC	20.82	14	PVC	20.82	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
CLL30	CLL31	14	PVC	19.63	14	PVC	19.63	NO	CAMBIO	NO CAMBIO
CLL31	O-4	14	PVC	12.55	14	PVC	12.55	NO	CAMBIO	NO CAMBIO

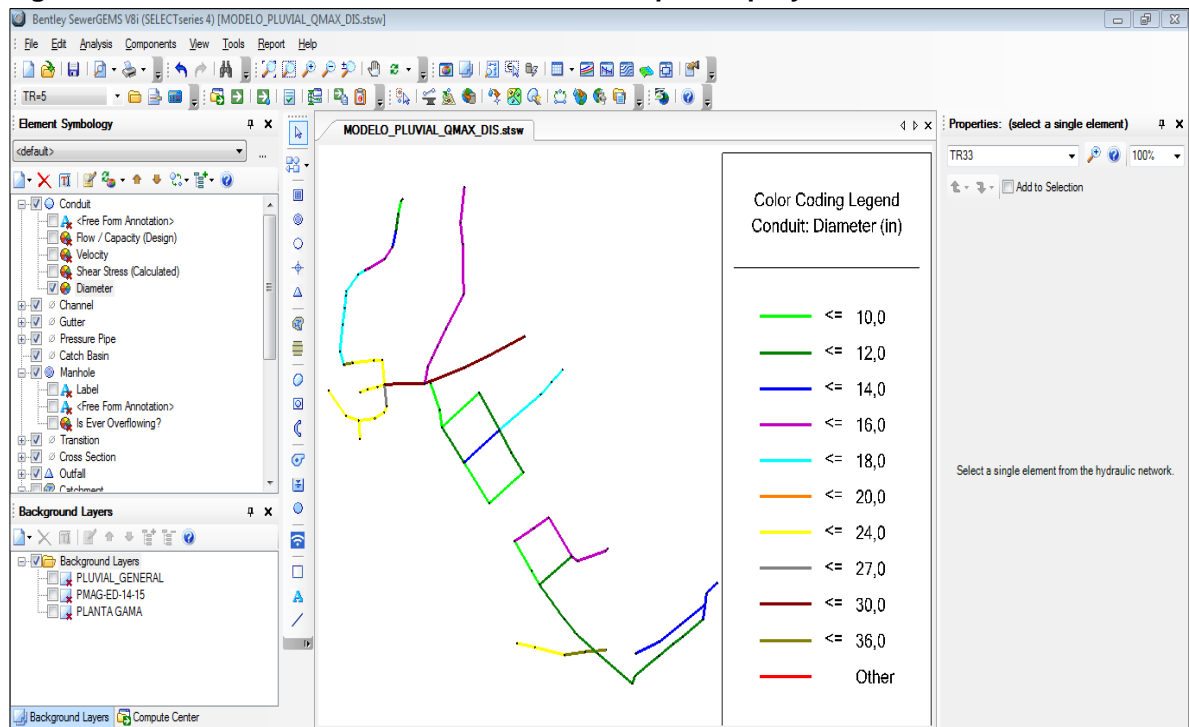
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la nueva configuración de diámetros para el sistema.

6.6.1 Diámetros en la red proyectada.

La siguiente ilustración exhibe la distribución de diámetros en el sistema de alcantarillado pluvial proyectado:

Figura 44. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial proyectado



Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede observar los diámetros menores a 10 pulgadas fueron renovados, para cumplir con la normatividad y buscar de igual manera tener una relación de caudal dentro del máximo permitido. Los porcentajes que cada uno representa se muestran en la siguiente tabla:


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

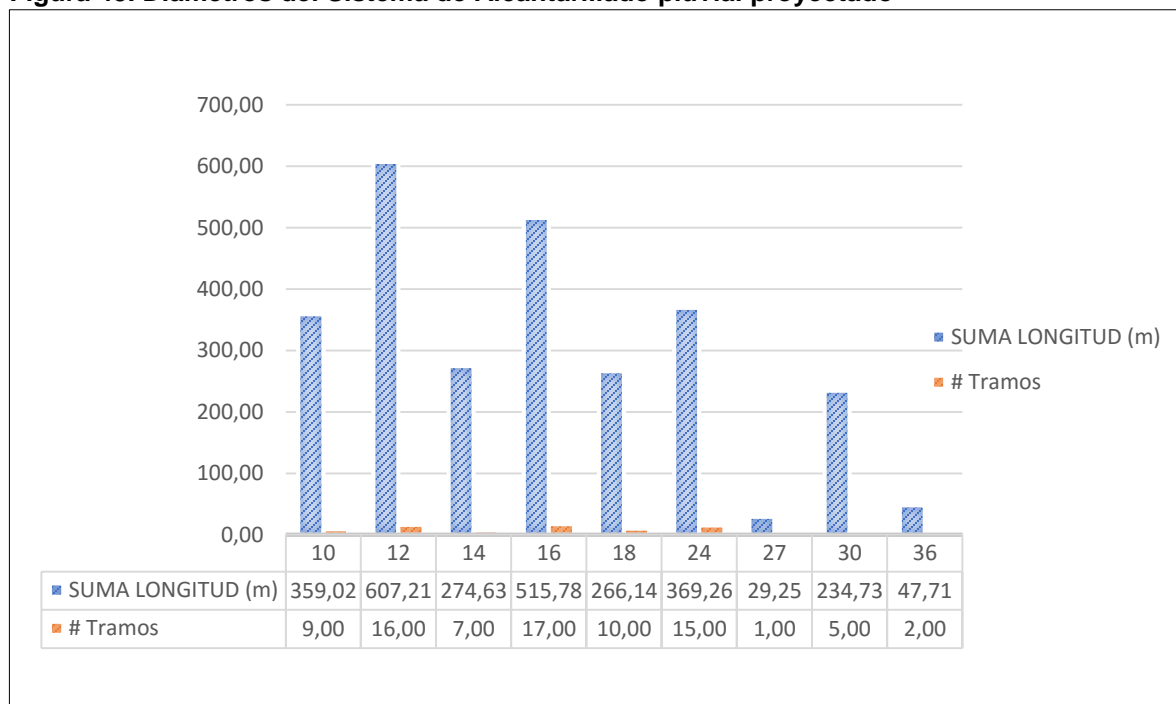
Tabla 35. Distribución de diámetros de la red pluvial proyectada

DIÁMETRO	SUMA LONGITUD (m)	# Tramos
10	359.02	9.00
12	607.21	16.00
14	274.63	7.00
16	515.78	17.00
18	266.14	10.00
24	369.26	15.00
27	29.25	1.00
30	234.73	5.00
36	47.71	2.00
Total, general	2703.73	82.00

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra gráficamente la distribución de diámetros obtenida para cumplir con todos los parámetros hidráulicos exigidos por la normatividad.

Figura 45. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial proyectado

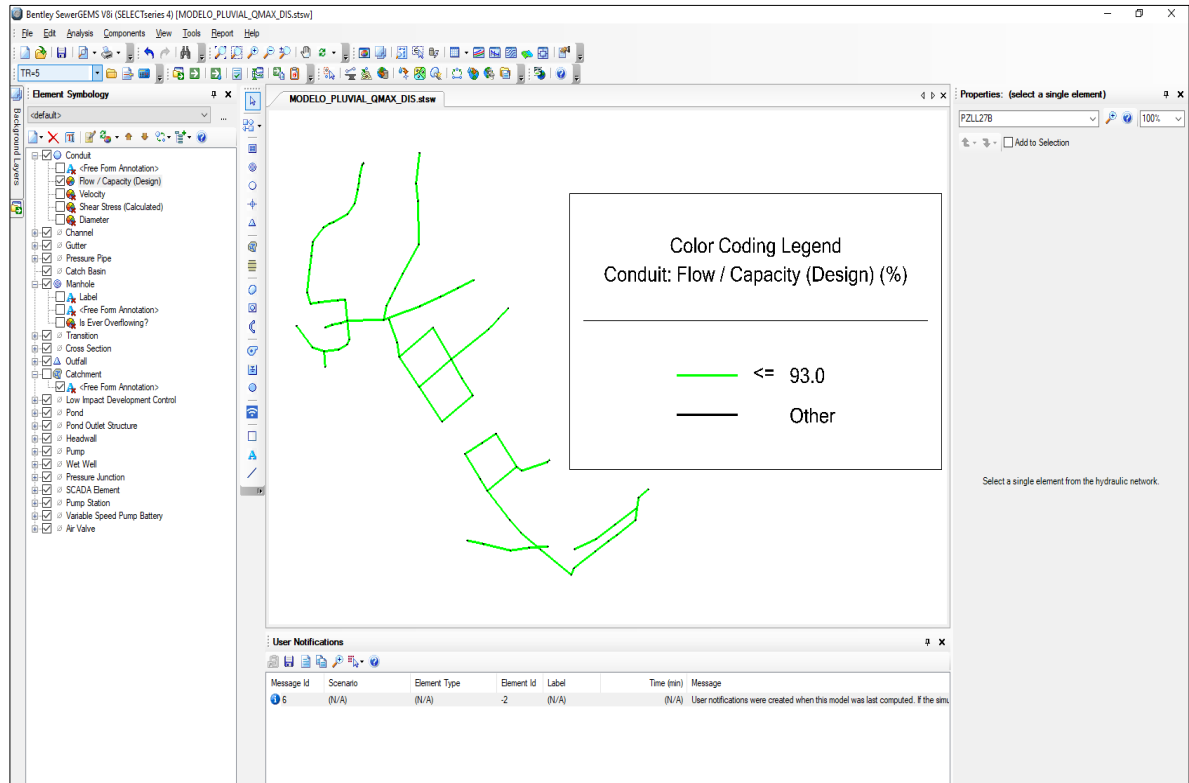


Fuente: Elaboración propia

6.6.2 Relación de profundidad hidráulica (Q/Qo) proyectada

En la siguiente figura se ilustra que con el nuevo diseño planteado las redes de alcantarillado pluvial son capaces de transportar todo el caudal generado por el evento de lluvia selecciono rigiéndose a la máxima relación de caudales exigido por la normatividad en Colombia.

Figura 46. Relación de profundidad hidráulica del Sistema de Alcantarillado pluvial diseñado.

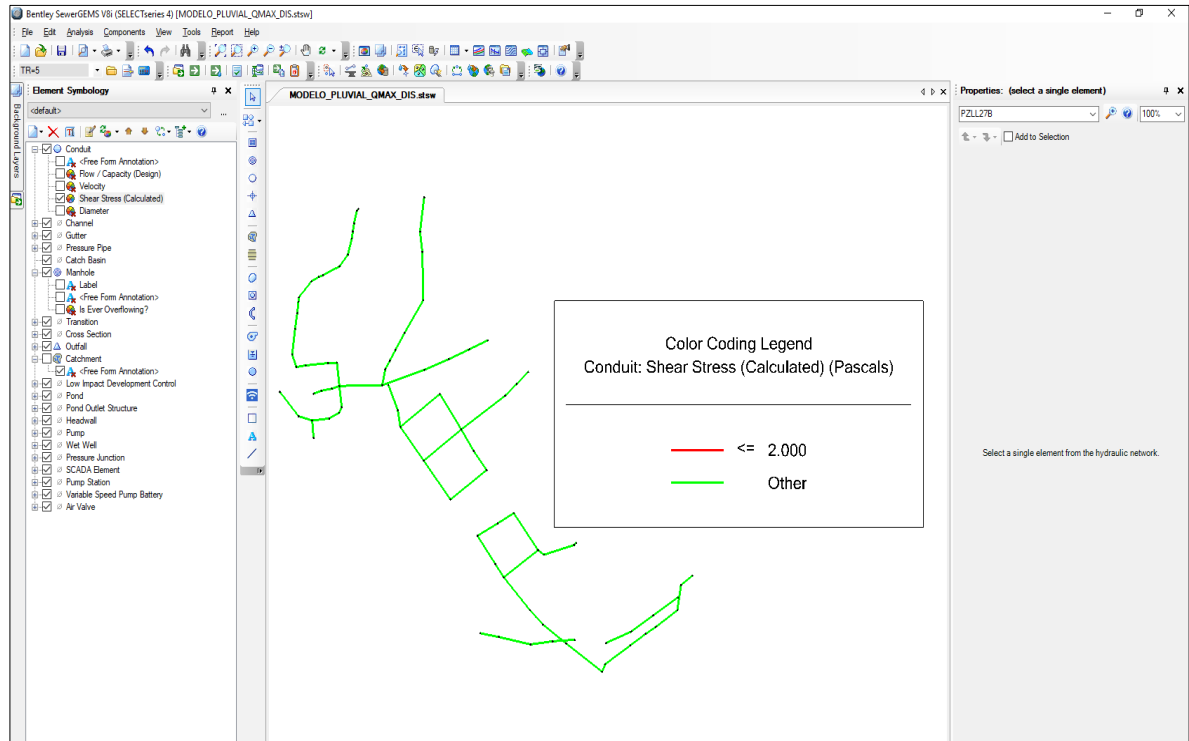


Fuente: Elaboración propia

6.6.3 Fuerza Tractiva

En la siguiente figura se ilustra que con el nuevo diseño planteado las redes de alcantarillado pluvial cumplen con el mínimo valor de esfuerzo cortante exigido en la normatividad en Colombia lo que garantiza un correcto autolavado de las tuberías evitando la sedimentación de solidos dentro de las tuberías.


Figura 47. Fuerza tractiva del Sistema de Alcantarillado pluvial diseñado



Fuente: Elaboración propia

Con la alternativa diseñada se genera un alcantarillado pluvial optimo y con suficiente respuesta ante un evento de lluvia como el esperado en el municipio de Gama Cundinamarca garantizando:

- Retener el mayor tiempo posible la escorrentía pluvial en su punto de origen, minimizando los problemas de inundación y evitando la modificación de la infraestructura de drenaje existente.
- Permitir una evacuación de la escorrentía pluvial de las vías públicas y evitar la generación de caudales excesivos en las calzadas, respetando los anchos máximos de inundación permisibles.
- Evitar la entrada de aguas lluvias a propiedades públicas y privadas.
- Evitar la acumulación de aguas en vías de tránsito peatonal y/o vehicular.
- Minimizar la afectación del tráfico vehicular y peatonal durante un evento fuerte de precipitación.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

7 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Para el cálculo de cantidades de obra y presupuesto se deben tener en cuenta tres aspectos importantes, el primero es el ancho de zanja de excavación, el segundo es el modelo de cimentación de la tubería y el tercero es el entibado a utilizar mientras se hace la construcción del sistema de alcantarillado, para esto se tendrá en cuenta el manual de diseño de PAVCO donde recomiendan estos elementos para tuberías flexibles.

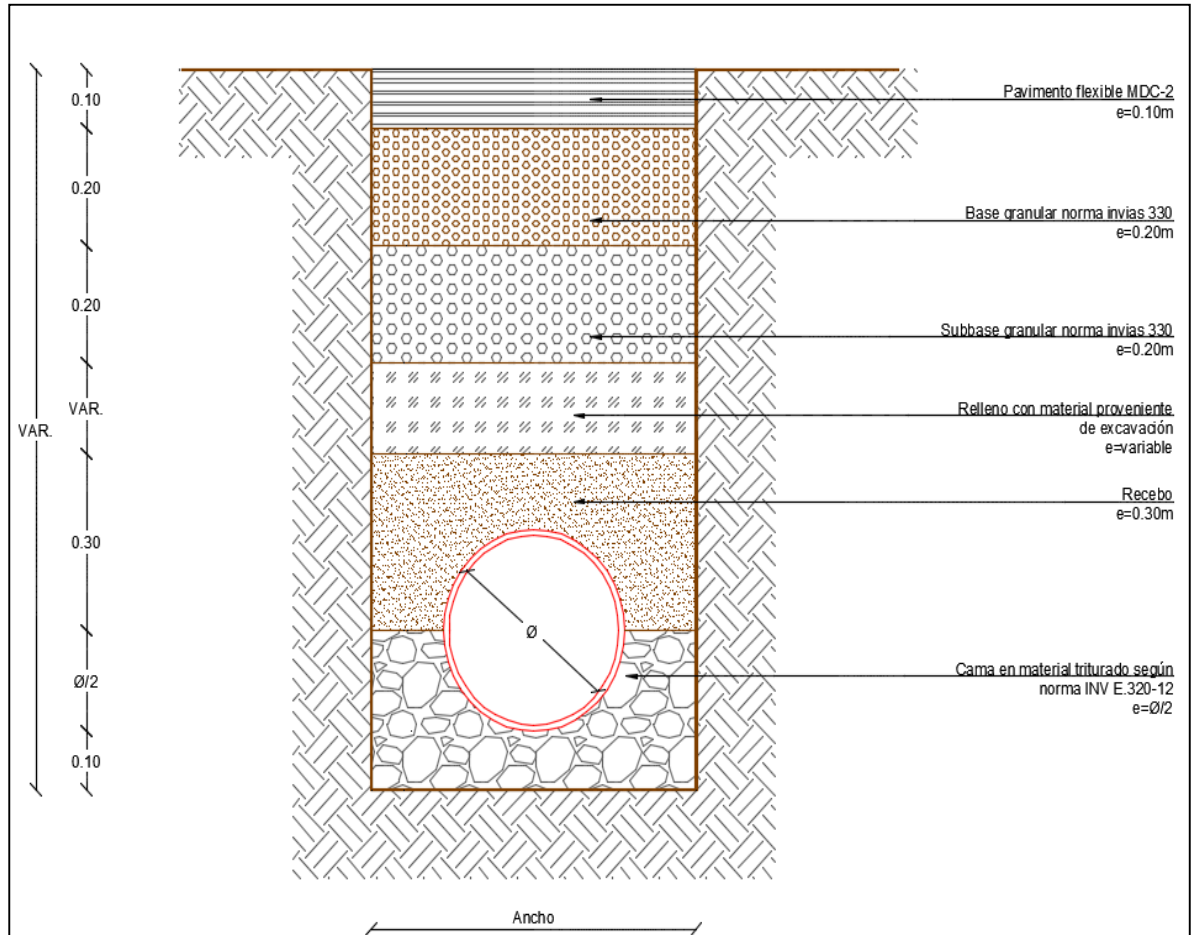
Tabla 36 Anchos de zanjas tomados para la cimentación de las tuberías

Diámetro Nominal		Diámetro	Diámetro	Rigidez		Bd	Long efec (m)
		Interno mm	Externo m	psi	Kg/m2	m	
200-S8	mm	182.00	0.200	57.00	40084.39	0.80	5.88
250-S8	mm	227.00	0.250	57.00	40084.39	0.80	5.85
315-S8	mm	284.00	0.315	57.00	40084.39	0.80	5.80
355-S8	mm	327.00	0.355	57.00	40084.39	0.80	5.81
400-S8	mm	362.00	0.400	57.00	40084.39	0.80	5.76
450-S8	mm	407.00	0.450	57.00	40084.39	0.85	5.73
500-S8	mm	452.00	0.500	57.00	40084.39	0.90	5.70
24-S4	pulgadas	595.00	0.656	28.00	19690.58	1.06	5.65
27-S4	pulgadas	670.00	0.730	28.00	19690.58	1.13	5.61
30-S4	pulgadas	747.00	0.813	28.00	19690.58	1.21	5.55
33-S4	pulgadas	824.00	0.898	28.00	19690.58	1.30	5.48
36-S4	pulgadas	900.00	0.980	28.00	19690.58	1.38	5.48

Fuente: Manual de diseño, PAVCO.

Para la cimentación de la tubería se tendrá en cuenta la reposición de pavimento flexible que se va a ver afectada por la construcción del sistema de alcantarillado, en la siguiente figura se presenta el modelo de cimentación a utilizar.

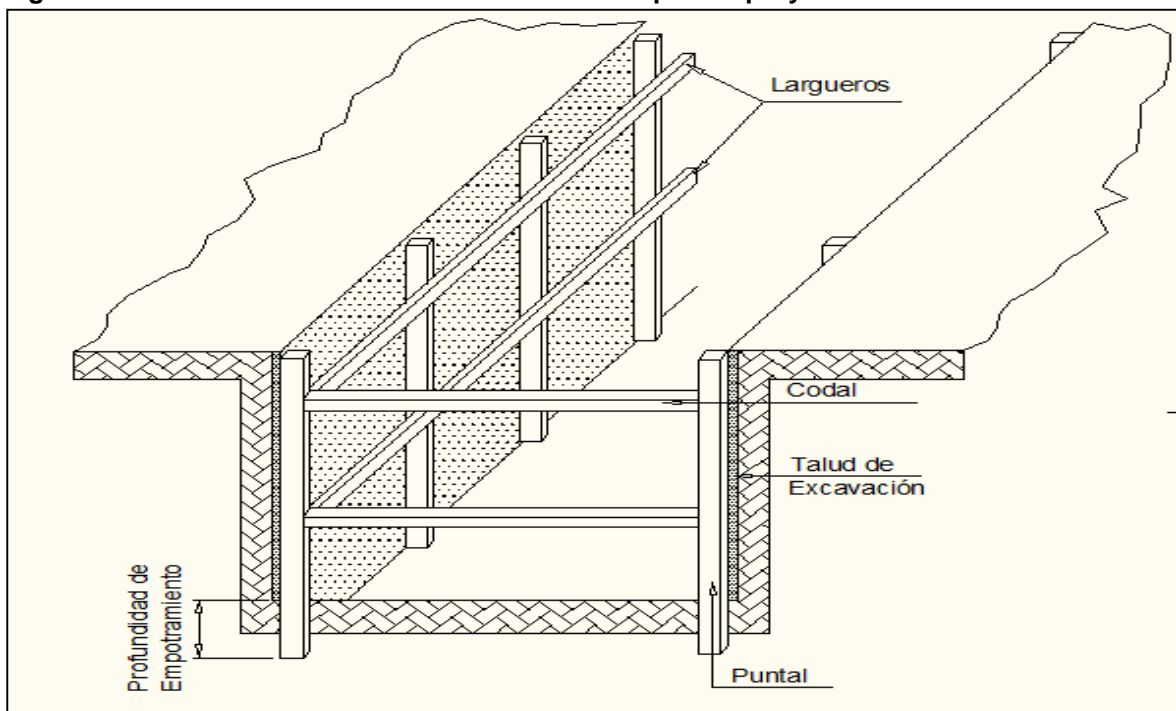
Figura 48. Detalle de Cimentación para Tuberías de Alcantarillado - Pavimento Flexible



Fuente: *Elaboración propia*

En la siguiente figura se muestra el modelo de entibado recomendado para este tipo de tubería en condiciones normales, el cual es el entibado discontinuo en madera tipo ED1.

Figura 49. Diámetros del Sistema de Alcantarillado pluvial proyectado



Fuente: *Elaboración propia*

Los elementos que lo conforman son los siguientes:

- Puntales: Tablas verticales de madera de sección rectangular mínima de 0.04 x 0.20 m, con espacios libres máximos de 0.20 m.
- Largueros: Vigas en madera de sección mínima 0.10 x 0.20 x 3.00 m.
- Codaes. Postes metálicos telescópicos de diámetro mínimo 101.6 mm (4") o elementos en madera de 0.12 m de diámetro como mínimo, distribuidos en niveles con separación vertical máxima de 1.60 metros y separación horizontal máxima de 1.60 m en la zona central del larguero y de 1.40 en los extremos del larguero.

Dicho esto, en el ANEXO G - PRESUPUESTO se presenta el presupuesto de la alternativa seleccionada, la cual incluye lista de insumos y equipos, cantidades de obra que consiste en la rehabilitación y renovación de tuberías de Alcantarillado pluvial para el municipio de Gama. A continuación, se presenta el resumen del presupuesto estimado para esta obra.



 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

Tabla 37 Resumen del presupuesto para el alcantarillado pluvial del municipio de Gama


ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
1.0	PRELIMINARES	\$54 915 536
2.0	EXCAVACIONES Y RELLENOS	\$127 541 914
3.0	POZOS DE INSPECCIÓN	\$134 540 401
4.0	PAVIMENTOS	\$74 847 398
5.0	SUMINISTROS TUBERÍA Y ACCESORIOS	\$283 938 298
6.0	INSTALACIÓN DE SUMINISTROS TUBERÍA Y ACCESORIOS	\$21 389 477
9.0	CABEZAL DE DESCARGA	\$20 517 675
SUBTOTAL OBRA CIVIL		\$ 433 752 401.00
SUBTOTAL SUMINISTROS		\$283 938 298.00
TOTAL, COSTO DIRECTO		\$717 690 699.00
administración obra		15.25%
		\$66 147 241.00
imprevisto		8.00%
		\$34 700 192.00
utilidades		8.00%
		\$34 700 192.00
A.I.U		31.25%
		\$135 547 625.00
		\$569 300 026.00
administración a suministro		10%
		\$28 393 830.00
		\$312 332 128.00
INTERVENTORÍA		Obra Civil 8.00%
		\$45 544 002.00
		Suministros 4.00%
		\$12 493 285.00
		\$58 037 287.00
		\$ 939 669 441.00

Fuente: Elaboración propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>PROYECTO DE GRADO</p> <p>PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA</p>	<p>FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1</p>
--	---	---


8 CONCLUSIONES

- Realizado el diagnóstico y evaluación técnica general del sistema de alcantarillado pluvial del municipio de Gama Cundinamarca por la normatividad legal colombiana RAS 2000 y la nueva resolución 330 de junio de 2017, se evidencian problemas de funcionamiento en algunos de los tramos de tubería, generando incomodidad en la población del municipio cuando se presentan eventos de lluvia considerables.
- Realizado los cálculos de las condiciones hidráulicas del sistema ante el caudal cargado se encontró que 864 metros aproximadamente el 31.94% de las tuberías que componen las redes de alcantarillado pluvial no tienen la suficiente capacidad, lo que genera que se debe realizar un estudio y análisis para el mejoramiento de estas redes en búsqueda de la satisfacción de la comunidad.
- Del análisis físico se concluye que la longitud total de tuberías instaladas es de 2703.73 metros aproximadamente, en la cual se tiene la siguiente distribución de materiales, PVC 2022.78 m (75%), concreto 680.95 m (25%), de igual manera la distribución de diámetros de la tubería es a la siguiente, 8 pulgadas 257.77 metros (9.5%), 10 pulgadas 529.98 metros (19.6%), 12 pulgadas 708.67 metros (26.2%), 14 pulgadas 253.01 metros (9.4%), 16 pulgadas 273.35 metros (10.1%), 24 pulgadas 633.24 metros (23.4%) y 36 pulgadas 47.71 metros (1.8%).
- Los resultados obtenidos muestran que las redes en su mayoría no cumplen con parámetros esenciales como lo es la capacidad hidráulica y la fuerza tractiva, por lo cual es necesario reevaluar el sistema de alcantarillado para hacerlo viable técnica y operativamente.
- Con base en el diagnóstico presentado se llevó a cabo el diseño total de 35 pozos de inspección nuevos (sin incluir las 3 descargas proyectadas) de los cuales todos se deben demoler y reconstruir; 41 tramos de tuberías, entre las cuales se incluyen todos los tramos que hidráulica no cumplían con las recomendaciones técnicas de la Resolución 330 de 2017 y los tramos que se debían afectar para darle continuidad al sistema.
- El valor proyectado para la construcción de las redes de alcantarillado necesarias para obtener un alcantarillado pluvial óptimo es de **\$939.669.441.00.**

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	--	---

9 RECOMENDACIONES

- Realizar mantenimientos preventivos con mayor frecuencia a cada uno las estructuras que componen el sistema de alcantarillado basados en las recomendaciones de la norma RAS 2000 como lavado, limpieza de capa vegetales, remoción de sedimentos entro otros.
- Contar con un personal adecuado y capacitado para realizar las labores de fontanería e inspección de todas las estructuras que componen el sistema de alcantarillado.
- Debido a las pendientes pronunciadas que determinan la topografía del terreno, las cuales favorecen alta velocidades de flujo, es necesario realizar un recubrimiento interno de las tuberías de concreto para evitar la abrasión y desgaste de estas reduciendo así su vida útil.
- La ejecución de la obra se debe realizar en orden lógico para evitar posibles daños en los elementos de la estructura, utilizando materiales de buena calidad y con las especificaciones recomendadas para cada una de las actividades, de igual manera se debe tener personal calificado para su ejecución.
- Planear correctamente la ejecución de las actividades teniendo en cuenta los posibles imprevistos que se puedan presentar, dando un margen de holgura adecuado para su resolución.
- Se debe hacer uso de los implementos de seguridad (casco, botas, gafas, chalecos, guantes) y normas para la ejecución de las actividades a fin de evitar daños físicos a los trabajadores y estructuras aledañas.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

10 BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA GAMA. Nuestro Municipio [en línea]. [Consultado: 30 de marzo de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.gama-cundinamarca.gov.co/indicadores.shtml/>

APARICIO MIJARES, Francisco Javier. Fundamentos de hidrología de superficie. Bogotá: Grupo Noriega Editores, 1989. 273 p.

BENTLEY. Productos [en línea]. [Consultado: 30 de marzo de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewergems/>

CHOW, Ven Te, y MAIDMENT, David y MAYS, Larry. Applied Hydrology. 1 ed. Estados Unidos: McGRAW-HILL. 1988.

COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Ministerio de Transporte. Manual de drenaje para carreteras. Diciembre de 2009.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330. (8, junio, 2017). Por la cual se adopta el reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Bogotá: El Ministerio, 2017. 182 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 1096. (17, noviembre, 2000). Por la cual se adopta el reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Título D. Bogotá: El Ministerio, 2000.


Cundinamarca, A. d. (2016). Plan de Desarrollo 2016-2019 Gama cuenta contigo. Alcaldía de Gama Cundinamarca: Alcaldía de Gama Cundinamarca.

EAAB. (2003). Sistema de información geográfica unificado empresarial SIGUE. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. <http://www.acueducto.com.co>

Instituto Colombiano de Normas Tecnicas NTC 1486 Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. (Sexta actualización). Bogotá: ICONTEC, 2008.

Instituto de Hidrología, M. y. (12 de enero de 2018). IDEAM. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/>

LINSLEY, Ray y KOHLER, Max y PAULUS, Joseph. Hidrología para ingenieros. 2 ed. Colombia: McGRAW-HILL Latinoamerica, S.A. 1977.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROYECTO DE GRADO PROPUESTA DE MANEJO DE ESCORRENTÍA DE PRECIPITACIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE GAMA CUNDINAMARCA	FECHA: 02 mayo de 18 VERSIÓN 1
---	---	---

LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2 ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2003.

McGHEE, Terence Y STEEL, E. W. Water Supply and Sewerage. 5 ed. Estados Unidos: McGRAW-HILL. 1979.

MONSALVE, Germán. Hidrología en la Ingeniería. 2 ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999.

RIVAS, Manjarres. Abastecimiento de agua y alcantarillado. Caracas: Vega, 1983. 244 p.

ROSMAN, L. Storm Water Management Model User's Manual v 5.1. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati. Estados Unidos. 2015.

SILVA GARAVITO, Luis Felipe. Diseño de acueductos y alcantarillado. 4 ed. Colombia: Universidad Santo Tomas. 1975.

TEMEZ, José. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. España: Dirección General de Carreteras. 1978.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Hidrología aplicada. Bogotá: Unal, 1998. 302 p.